

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3603843

[Date of registration] 08.10.2004

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1] The phase which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece from an YAG laser, The phase of detecting the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, The phase which computes frequency distribution of the signal acquired from the detected reflected light, If the phase which computes the signal strength in the specific frequency band of the computed frequency distribution, and the computed signal strength are over the reference value set up beforehand The quality monitoring approach of the laser-welding section characterized by including the phase judged that generating of porosity is in a normal range if generating of porosity judges that it is excessive and is not over the reference value.

[Claim 2] The phase which computes said frequency distribution is the quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 1 characterized by having the phase of changing the detected reflected light into an electrical signal, and the phase which computes frequency distribution of the electrical signal concerned based on aging of the changed electrical signal.

[Claim 3] The specific frequency band for computing said signal strength is the quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 1 or 2 characterized by making it change according to at least one numeric value in aspect ratio H/D computed from depth H of the keyhole of the weld zone in the board thickness of said work piece, the speed of travel, and said work piece, and the width of face D of the keyhole concerned.

[Claim 4] Calculation of said signal strength is the quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 1 or 2 characterized by being carried out using the band-pass filter which passes the signal of only said specific frequency band, using the fast Fourier transform (FFT) which computes frequency distribution of signal strength.

[Claim 5] The YAG laser which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece, A reflected light detection means to detect the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, An electrical signal conversion means to change the detected reflected light into an electrical signal, and a frequency distribution calculation means to compute frequency distribution of the electrical signal concerned based on aging of the changed electrical signal, If a signal strength calculation means to compute the signal strength in the specific frequency band of the computed frequency distribution, and the computed signal strength are over the reference value set up beforehand The quality monitoring apparatus of the laser-welding section characterized by having a welding quality decision means to judge that generating of porosity is in a normal range if generating of porosity judges that it is excessive and is not over the reference value.

[Claim 6] Said reflected light detection means is the quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 5 characterized by having the interference filter which makes only the light of the wavelength of said YAG laser beam of light penetrate in order to detect only the reflected light of said YAG laser beam of light.

[Claim 7] Said signal strength calculation means is the quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 5 characterized by changing the specific frequency band for computing signal

strength according to at least one numeric value in aspect ratio  $H/D$  computed from depth  $H$  of the keyhole of the weld zone in the board thickness of said work piece, the speed of travel, and said work piece, and the width of face  $D$  of the keyhole concerned.

[Claim 8] Said signal strength calculation means is the quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 5 characterized by computing signal strength using the band-pass filter which passes the signal of only said specific frequency band, using the fast Fourier transform (FFT) which computes frequency distribution of signal strength.

[Claim 9] The phase which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece from an YAG laser, The phase of detecting the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, The phase which computes frequency distribution of the signal acquired from the detected reflected light, At least one signal strength in the signal strength in the 2nd frequency band for detecting generating of the signal strength in the 1st frequency band for detecting generating of under-filling among the computed frequency distribution, or porosity, The phase which computes the signal strength in the 3rd frequency band for detecting generating of non-joining, One shaft shows the magnitude of the signal strength of said 1st frequency band and said 2nd frequency band. The phase where the shaft of another side plots virtually the signal strength of each of said frequency band computed by the imagination biaxial system of coordinates which show the magnitude of the signal strength of said 3rd frequency band, The quality monitoring approach of the laser-welding section characterized by including the phase of judging generating of at least one welding condition among under-filling, porosity, and non-joining by whether the signal strength of each of said frequency band being virtually plotted by which field of said biaxial system of coordinates.

[Claim 10] The phase which computes said frequency distribution is the quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 9 characterized by having the phase of changing the detected reflected light into an electrical signal, the phase of memorizing aging of the changed electrical signal, and the phase that computes frequency distribution of the electrical signal concerned based on aging of an electrical signal.

[Claim 11] The quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 9 or 10 characterized by specifying the under-filling field for judging generating of one welding condition of under-filling, porosity, and non-joining, the porosity field, and the non-joining field in said biaxial system of coordinates.

[Claim 12] The quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 11 characterized by specifying the excellent article field for judging further that one welding condition of under-filling, porosity, and non-joining has not occurred in said biaxial system of coordinates.

[Claim 13] The quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 12 characterized by specifying the mixture field where it is difficult for the boundary of the under-filling field of said biaxial system of coordinates, a porosity field, a non-joining field, and each excellent article field to specify the class of welding condition.

[Claim 14] furthermore, when the imagination plot of the signal strength of one of frequency bands is made into said mixture field The phase of dividing into time series aging of the electrical signal memorized to one welding part to two or more fields, The phase which computes frequency distribution of said electrical signal for said every field based on aging of the electrical signal in each divided field, At least one signal strength in signal strength [ in / to each of the frequency distribution computed for said every field / said 1st frequency band ], or the signal strength in said 2nd frequency band, The phase which computes the signal strength in said 3rd frequency band, and the phase which plots virtually the signal strength of each of said frequency band computed by said biaxial system of coordinates for said every field, By whether the signal strength of each of said frequency band is virtually plotted by which field of said biaxial system of coordinates The phase of judging generating of at least one welding condition for said every field among under-filling, porosity, and non-joining, The quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 13 characterized by having the phase of judging the condition of the quality of said welding part synthetically, based on said decision.

[Claim 15] The phase of judging the condition of the quality of said welding part synthetically The

number of said fields judged that at least one welding condition has occurred among under-filling, porosity, and non-joining. The quality monitoring approach of the laser-welding section according to claim 14 characterized by judging that there is a problem in the quality of the welding part, and judging that there is no problem in the quality of the welding part when that is not right when it is over the fixed rate to the number of said divided fields.

[Claim 16] Said each the 1st to 3rd frequency band for computing said signal strength is the quality monitoring approach of the laser-welding section given in either claim 9 characterized by making it change according to at least one numeric value in aspect ratio H/D computed from depth H of the keyhole of the weld zone in the board thickness of said work piece, the speed of travel, and said work piece, and the width of face D of the keyhole concerned, claim 10 or claim 14.

[Claim 17] The YAG laser which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece, A reflected light detection means to detect the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, An electrical signal conversion means to change the detected reflected light into an electrical signal, and a storage means to memorize aging of the changed electrical signal, A frequency distribution calculation means to compute frequency distribution of the electrical signal concerned based on aging of an electrical signal, At least one signal strength in the signal strength in the 2nd frequency band for detecting generating of the signal strength in the 1st frequency band for detecting generating of under-filling among the computed frequency distribution, or porosity, A signal strength calculation means to compute the signal strength in the 3rd frequency band for detecting generating of non-joining, One shaft shows the magnitude of the signal strength of said 1st frequency band and said 2nd frequency band. The shaft of another side to the imagination biaxial system of coordinates which show the magnitude of the signal strength of said 3rd frequency band. By whether the signal strength of each of said computed frequency band is plotted virtually, and the signal strength of each of said frequency band is virtually plotted by which field of said biaxial system of coordinates. Under-filling, porosity, the quality monitoring apparatus of the laser-welding section characterized by having a welding quality decision means to judge generating of at least one welding condition among non-joining.

[Claim 18] Said reflected light detection means is the quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 17 characterized by having the interference filter which makes only the light of the wavelength of said YAG laser beam of light penetrate in order to detect only the reflected light of said YAG laser beam of light.

[Claim 19] The quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 17 characterized by specifying the under-filling field for judging generating of one welding condition of under-filling, porosity, and non-joining, the porosity field, and the non-joining field in said biaxial system of coordinates.

[Claim 20] The quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 19 characterized by specifying the excellent article field for judging having not generated further the welding condition in which under-filling, porosity, and non-joining are not, either in said biaxial system of coordinates.

[Claim 21] The quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 20 characterized by specifying the mixture field where it is difficult for the boundary of the under-filling field of said biaxial system of coordinates, a porosity field, a non-joining field, and each excellent article field to specify the class of welding condition.

[Claim 22] furthermore, when the imagination plot of the signal strength of one of frequency bands is made into said mixture field. It has a division means to divide into time series aging of an electrical signal to one welding part memorized by said storage means to two or more fields. Said welding quality decision means. The quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 21 characterized by judging generating of at least one welding condition among under-filling, porosity, and non-joining for said every field, and judging the condition of the quality of said welding part synthetically based on the decision.

[Claim 23] The number of said fields judged that at least one welding condition has generated said welding quality decision means among under-filling, porosity, and non-joining. The quality monitoring

apparatus of the laser-welding section according to claim 22 characterized by judging that there is a problem in the quality of the welding part, and judging that there is no problem in the quality of the welding part when that is not right when it is over the fixed rate to the number of said divided fields. [Claim 24] Said each the 1st to 3rd frequency band for computing said signal strength is the quality monitoring apparatus of the laser-welding section according to claim 17 or 22 characterized by making it change according to at least one numeric value in aspect ratio  $H/D$  computed from depth  $H$  of the keyhole of the weld zone in the board thickness of said work piece, the speed of travel, and said work piece, and the width of face  $D$  of the keyhole concerned.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention] This invention relates to the quality monitoring approach of the laser-welding section, and its equipment, and relates to the quality monitoring approach of the laser-welding section which can carry out monitoring of the generating of welding conditions, such as porosity of the laser-welding section, under-filling, and non-joining, especially, and its equipment.

[0002]

[Description of the Prior Art] Welding of a very thin steel plate which is used for the body of an automobile has some which are performed by laser welding. Laser welding is used because it is equipped with many advantages -- that laser welding does not need to sandwich a steel plate from front flesh-side both sides as compared with spot welding, and it can weld from one side, or the interior can be easily welded even if it is the slot of a thin complicated configuration. However, on the other hand, there is a fault of a lifting or a cone for deterioration of the welding quality by the poor doubling precision of a steel plate and deterioration of the sudden welding quality resulting from contamination of a weld zone.

[0003] Therefore, it enables it to predict the condition of the quality of the laser-welding section on real time using the monitoring approach which is indicated by the former, for example, JP,2000-271768,A. With the technique currently indicated by the above-mentioned official report, the luminous intensity which detected the light from the plume generated in the keyhole of the laser-welding section and the reflected light of the irradiated YAG laser, and was detected by each sensor by two sensors by which detection include angles differ detects change of a welding condition (an output, a focal location, work-piece gap), and the condition of the quality of the laser-welding section is predicted on real time.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the monitoring approach of the conventional welding quality, although generating of the welding condition nonconformance of deviating from the welding condition (under-filling) that a slot will be made to the laser-welding section, and a regular welding condition is detectable, generating of the porosity (porosity-izing) of a weld zone generated at the time of laser welding, such as a galvanized steel sheet, has the problem of being hard to detect.

[0005] Generating of porosity cannot detect easily, because the condition of welding quality is judged based on the light emitted from the part (keyhole) which laser light is irradiated and the monitoring approach of the conventional welding quality is fusing. Although porosity is generated because a zinc steam mixes in a keyhole, it is because the light emitted from a keyhole hardly changes even if a zinc steam mixes.

[0006] Moreover, although a non-joining condition with imperfect joining of an up-and-down plate will occur by the monitoring approach of the conventional welding quality if between up-and-down plate gaps is too large when performing a lap welding, there is a problem of being hard to detect generating of this non-joining condition.

[0007] Although generating of welding conditions, such as under-filling except porosity and non-

joining, and welding condition nonconformance is detectable also by the monitoring approach of the conventional welding quality, since the detection approaches differ for every class of welding condition, in order to carry out the detection, very complicated computation is needed. Therefore, there is also a problem that the processing burden of CPU to the computation becomes large.

[0008] Furthermore, by the monitoring approach of the conventional welding quality, when welding conditions, such as under-filling except porosity and non-joining, and a welding condition nonconformance condition occur over the whole part which welded, generating of those conditions can detect easily, but when those conditions occur into a part of part which welded, there is also a problem that where of generating of those conditions is easily undetectable.

[0009] This invention is accomplished in view of such a conventional trouble, can detect certainly generating of welding conditions, such as porosity of the laser-beam-welding section, under-filling, and non-joining, without enlarging the processing burden of CPU, and aims at offer of the quality monitoring approach of the laser-beam-welding section which can also detect certainly generating of welding conditions, such as porosity, under-filling, and non-joining, in a part of laser-beam-welding section, and its equipment.

[0010]

[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem and to attain the object, the quality monitoring approach of the laser-welding section concerning invention according to claim 1 The phase which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece from an YAG laser, The phase of detecting the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, The phase which computes frequency distribution of the signal acquired from the detected reflected light, If the phase which computes the signal strength in the specific frequency band of the computed frequency distribution, and the computed signal strength are over the reference value set up beforehand If generating of porosity judges that it is excessive and is not over the reference value, it is characterized by including the phase judged that generating of porosity is in a normal range.

[0011] Since only the signal strength of a specific frequency band required for detection of generating of too much porosity is extracted from the signal which detected the reflected light of an YAG laser beam of light suitable for detection of generating of porosity, and was generated based on that reflected light according to this invention according to claim 1, based on the signal strength of that extracted signal, extent of generating of porosity can judge easily. Therefore, generating of too much porosity which was difficult to detect conventionally can detect certainly.

[0012] In order to solve the above-mentioned technical problem and to attain the object, the quality monitoring approach of the laser-welding section concerning invention according to claim 9 The phase which irradiates a laser beam towards the weld zone of a work piece from an YAG laser, The phase of detecting the reflected light from the weld zone concerned of the irradiated laser beam, The phase which computes frequency distribution of the signal acquired from the detected reflected light, At least one signal strength in the signal strength in the 2nd frequency band for detecting generating of the signal strength in the 1st frequency band for detecting generating of under-filling among the computed frequency distribution, or porosity, The phase which computes the signal strength in the 3rd frequency band for detecting generating of non-joining, One shaft shows the magnitude of the signal strength of said 1st frequency band and said 2nd frequency band. The phase where the shaft of another side plots virtually the signal strength of each of said frequency band computed by the imagination biaxial system of coordinates which show the magnitude of the signal strength of said 3rd frequency band, It is characterized by including the phase of judging generating of at least one welding condition among under-filling, porosity, and non-joining, by whether the signal strength of each of said frequency band is virtually plotted by which field of said biaxial system of coordinates.

[0013] According to this invention according to claim 9, the reflected light of an YAG laser beam of light is detected. Under-filling from the signal generated based on the reflected light, porosity, By whether those signal strength is plotted by which field of biaxial system of coordinates by extracting the signal strength of the 1st - the 3rd frequency band suitable for detection of generating of at least one welding condition in non-joining, respectively Since generating of the welding condition of under-

filling, porosity, and non-joining is judged, generating of two or more welding conditions can detect certainly.

[0014]

[Effect of the Invention] Since only the signal strength of a specific frequency band required for detection of generating of too much porosity is extracted from the signal which detected the reflected light of an YAG laser beam of light suitable for detection of generating of porosity, and was generated based on the reflected light according to invention according to claim 8 from claim 1 as explained above, generating of too much porosity which was difficult to detect conventionally can detect certainly.

[0015] Moreover, since the specific frequency band for computing signal strength is changed according to at least one numeric value in aspect ratio  $H/D$  computed from depth  $H$  of the keyhole of the weld zone in the board thickness of a work piece, the speed of travel, and said work piece, and the width of face  $D$  of the keyhole concerned, dispersion in board thickness, the speed of travel, and the generating detection precision of the porosity by difference of an aspect ratio is cancelable.

[0016] Moreover, according to invention according to claim 24, the reflected light of an YAG laser beam of light is detected from claim 9. Under-filling from the signal generated based on the reflected light, porosity, By whether those signal strength is plotted by which field of biaxial system of coordinates by extracting the signal strength of the 1st - the 3rd frequency band suitable for detection of generating of at least one welding condition in non-joining, respectively Since generating of the welding condition of under-filling, porosity, and non-joining is judged, generating of two or more welding conditions can detect certainly. Moreover, the thing which one of welding conditions has generated, or when it cannot judge having generated neither of the welding conditions clearly Since aging of the electrical signal memorized to one welding part is divided into time series to two or more fields and the condition of the quality of a welding part is re-judged about each of that divided field It becomes easy to judge the right or wrong of generating of one of welding conditions synthetically, and decision of generating of one of welding conditions comes be further made to high degree of accuracy.

[0017]

[Embodiment of the Invention] Below, with reference to an accompanying drawing, the gestalt of suitable operation of the quality monitoring approach of the laser-welding section concerning this invention and its equipment is divided into the gestalt 1 (it corresponds to claims 1-8) of operation, and the gestalt 2 (it corresponds to claims 9-24) of operation, and it explains at a detail taking the case of the case where welded part material is a galvanized steel sheet.

(Gestalt 1 of operation) Drawing 1 is the concrete block diagram of the YAG laser welding equipment equipped with the quality monitoring apparatus concerning this invention.

[0018] A fiber-optic cable 2 is attached in the upper part of the YAG laser welding equipment 100, and the laser beam from the YAG laser oscillator (YAG laser) which is not illustrated by the fiber-optic cable 2 is led to the YAG laser welding equipment 100. From the center section of the YAG laser welding equipment 100, it applies to the lower part and the condensing optical system for condensing the drawn laser beam is arranged. The condensing optical system has a collimator lens 3 and a condenser lens 4, and after the drawn laser beam is made into a parallel ray with a collimator lens 3, it is condensed by the front face of a work piece (car-body panel) 5 with a condenser lens 4. Melting of the condensed part (weld zone) is carried out by the energy of a laser beam, and work pieces are welded.

[0019] Moreover, sensor 6b is arranged in sensor 6a which functions on the lower side face of the YAG laser welding equipment 100 as a reflected light detection means from the front face of a work piece 5 in the location of 60 elevation angles ( $\theta_1$ ), and the location of ten elevation angles ( $\theta_2$ ). Sensor 6a is a sensor for detecting the reflected light of the laser beam reflected without being absorbed by the work piece 5 after the weld zone mainly irradiated. Sensor 6b is a sensor for detecting the plasma light (light) generated from a weld zone on the occasion of welding. The welding quality of a weld zone is judged by real time based on the light (reflected light and plasma light) detected by both the sensors 6a and 6b. Since the monitoring approach of this invention and a monitoring apparatus detect generating of porosity using the reflected light of a laser beam, sensor 6a becomes an important sensor especially.



[0020] Drawing 2 is the conceptual diagram of the YAG laser welding equipment equipped with the quality monitoring apparatus concerning this invention. The YAG laser welding equipment shown in drawing is equipped with the YAG laser oscillator 1, after the laser beam generated with this YAG laser oscillator 1 is led to condensing optical system by the fiber-optic cable 2 and is made into parallel light with a collimator lens 3, it is condensed by the front face of a work piece 5 with a condenser lens 4, and it welds a work piece 5 by the power of that condensed laser beam.

[0021] On the other hand, sensor 6a is arranged in the 1st location where the elevation angle  $\theta_1$  from the front face of a work piece 5 becomes 60 degrees, and the reflected light of the YAG laser reflected without being absorbed by the work piece 5 after this sensor 6a irradiated at the weld zone F is changed into the electrical signal according to that reinforcement. Therefore, sensor 6a functions as an electrical signal conversion means. Moreover, sensor 6b is arranged in the 2nd location where the elevation angle  $\theta_2$  from the front face of a work piece 5 becomes 10 degrees, and the plasma light (light) from the plume (hot metallic fumes) generated in a weld zone F on the occasion of welding by this sensor 6b is changed into the electrical signal according to that reinforcement. The electrical signal changed by both the sensors 6a and 6b is inputted into the metering device 7 which consists of an amplifier (pre amplifier), a band pass filter, an A/D converter, a personal computer, etc.

[0022] Said sensors 6a and 6b consist of two photodiodes 8 and 9, and dichroic mirrors 10 and the interference filters 11 which penetrate only 1064nm\*\*10nm wavelength, as shown in drawing 3.

[0023] In the sensors 6a and 6b concerned, the light from the weld zone which carried out incidence from the left-hand side in drawing is first chosen according to wavelength with a dichroic mirror 10. That is, it is reflected by the dichroic mirror 10, the light with a wavelength of 500nm or less is led to a photodiode 8, it is changed into an electrical signal as a plasma light, and the reinforcement is detected. On the other hand, after the infrared light of the incident light from a weld zone penetrates a dichroic mirror 10, only the YAG laser light which has the wavelength of 1.06 micrometers penetrates an interference filter 11, and it is led to a photodiode 9, is changed into an electrical signal as the YAG reflected light, and is inputted into said metering device 7, respectively. Since the monitoring approach of this invention and a monitoring apparatus detect generating of porosity using the reflected light of a laser beam, the electronic signal from a photodiode 9 formed in sensor 6a will be used for them.

[0024] Drawing 4 is drawing showing the concrete configuration of the metering device 7 shown in drawing 2. This metering device 7 is formed to each of the photodiodes 8 and 9 formed in each sensors 6a and 6b. Therefore, four metering devices 7 are formed in the monitoring apparatus of this invention. The configuration of each metering device 7 is the same.

[0025] Amplifier (pre amplifier) 7A to which a metering device 7 amplifies the electrical signal from a photodiode 9 to fixed level, A/D converters 7B and 7D which transform into a digital electrical signal the electrical signal of the analog outputted from amplifier 7A, Band pass filter 7C which passes only the electrical signal of a specific frequency band, The function as a frequency distribution calculation means to compute frequency distribution of the inputted electrical signal, It consists of display 7F for displaying the decision result of personal computer 7E equipped with the function as a signal strength calculation means to compute the signal strength in a specific frequency band, and the function as a welding quality decision means to judge the situation of generating of porosity, and welding quality.

[0026] Drawing 5 to drawing 7 is drawing with which explanation of the detection principle of welding quality is presented. By analyzing the light from a weld zone explains why welding quality is detectable based on these drawings. Drawing 5 and drawing 6 show the generating situation of the porosity at the time of carrying out the lap welding of the galvanized steel sheet which is the object of welding. As shown in drawing 5, the keyhole 25 which the irradiated part (weld zone) will begin to fuse in response to the energy of a laser beam, and the metal will fuse with the YAG laser welding equipment 100 if the YAG laser beam of light of a high-power consistency is irradiated by the matching section 20 of a galvanized steel sheet is formed. At this time, in the melting temperature of the steel 22 which is a base material, the zinc galvanizing layer 21 plated on the surface of the steel plate becomes metallic fumes, and the air-bubbles-like porosity (blowhole) 23 generates it in a keyhole 25 with the pressure of metallic fumes.

[0027] As shown in drawing 6, the laser beam is absorbed with the wall 26 of the front face of a keyhole 25. In the lap welding of a galvanized steel sheet, when the zinc galvanizing layer 21 which exists in the interface of the steel plate of two sheets melts, the zinc metallic fumes 27 spout in a keyhole 25. This becomes porosity 23. To the plume 28 which the zinc metallic fumes 27 spouted from opening of a keyhole 25 in welding with an YAG laser beam of light since the wavelength of a laser beam was as short as about 1.06 micrometers, the laser beam is almost transparent. Therefore, even if it observes a plume 28, a high-speed phenomenon like the existence of porosity 23 cannot be caught.

[0028] However, it is thought that the reflected light of an YAG laser beam of light changes with the conditions of the wall 26 of keyhole 25 front face. When the condition of the wall 26 of keyhole 25 front face is changed by the blowout of the zinc metallic fumes 27, the reflected light of a laser beam will also be changed. Since this phenomenon happens in the keyhole 25 interior near a steel plate interface, by sensor 6b which has an observation include angle in a low location, it cannot be caught but can be caught only by sensor 6a which has an observation include angle in a high location.

[0029] Therefore, the fluctuation condition of the wall 26 of keyhole 25 front face needs to set up the include angle which installs sensor 6a within the limits of the include angle which can be caught by the reflected light. It is the include angle of the range of 70 degrees from 45 elevation angles of the range which the fluctuation condition of the wall 26 of keyhole 25 front face can catch by the reflected light, without interfering in the laser beam irradiated by the weld zone actually. In addition, the still more nearly optimal include angle in within the limits of this include angle is decided according to the welding condition of the clearance between board thickness and a plate, the power of a laser beam, a focal location, etc., etc. With the gestalt of this operation, as shown in drawing 1, it is considering as 60 elevation angles.

[0030] Moreover, since the metal fused by the keyhole 25 flows into the clearance 30 when galvanized steel sheets do not touch exactly in the matching section 20 and some clearances 30 are generated, as shown in drawing 7, the welding condition of under-filling 31 occurs. Generating of this under-filling 31 can be caught also by sensor 6b in the location where an observation include angle is low.

[0031] The processing for next detecting porosity by the monitoring apparatus concerning this invention is explained referring to drawing 12 from the flow chart and drawing 9 of drawing 8. Data, such as a wave shown in drawing 12 from drawing 9, are obtained as a result of being measured based on the following welding condition (basic welding condition). The outputs of an YAG laser are 3Kw(s) at a processing point. The thickness of a galvanized steel sheet used the 0.8mm thing, respectively. The speed of travel is 4.5 m/min.

[0032] The flow chart of drawing 8 shows the procedure of the monitoring approach concerning this invention. If an YAG laser beam of light is irradiated by the matching section 20 of a galvanized steel sheet as shown in drawing 6, the irradiated part will fuse in response to the energy of a laser beam. Since the fused metal is very an elevated temperature, from a keyhole 25 and a plume 28, the light, infrared light, the reflected light of an YAG laser beam of light, etc. are emitted to a radial. Sensor 6a and sensor 6b carry out incidence of such light, and change them into an electrical signal. The changed electrical signal is stored in the storage which personal computer 7E (refer to drawing 4) does not illustrate (S1).

[0033] Drawing 9 is the wave form chart (changed with the photodiode 9) of the electrical signal acquired from the reflected light of an YAG laser beam of light when welding is performed under a basic welding condition. The wave form chart of this electrical signal is created with the sampling frequency of 20kHz. In this wave form chart, an axis of ordinate expresses signal strength and the axis of abscissa expresses time amount. Moreover, YH shows the time fluctuation situation of the reflected light caught by sensor 6a which has an observation include angle in a high location. YL shows the time fluctuation situation of the reflected light caught by sensor 6b which has an observation include angle in a low location. The wave of the "excellent article" with which normal welding was performed, a "porosity article" with excessive generating of porosity, and the "under-filling article" which under-filling produced is shown by this drawing. Since the wave configurations differ [ in the case of an under-filling article ] clearly in the case of an excellent article, decision of that it is an under-filling article is

easy. However, in the case of a porosity article, since a difference is not looked at by the wave configuration only by the comparison with the case of an excellent article, decision of that it is a porosity article is difficult.

[0034] Drawing 10 is the wave form chart (changed with the photodiode 8) of the electrical signal acquired from the light of a keyhole 25 and a plume 28 when welding is performed under a basic welding condition. This wave form chart is also created with the sampling frequency of 20kHz. In this wave form chart, an axis of ordinate expresses signal strength and the axis of abscissa expresses time amount. Moreover, YH shows the time fluctuation situation of the light caught by sensor 6a which has an observation include angle in a high location. YL shows the time fluctuation situation of the light caught by sensor 6b which has an observation include angle in a low location. The wave of the "excellent article" with which normal welding was performed, a "porosity article" with excessive generating of porosity, and the "under-filling article" which under-filling produced is shown by this drawing. Since the waves differ [ in the case of an under-filling article ] clearly in the case of an excellent article, decision of that it is an under-filling article is easy. However, in the case of a porosity article, since a difference is not looked at by the wave configuration only by the comparison with the case of an excellent article, decision of that it is a porosity article is difficult.

[0035] Thus, differentiation with an excellent article and a porosity article is difficult only by each sensors 6a and 6b investigating the time on-the-strength change condition of the reflected light and each light. For this reason, among the waves stored in storage, an observation include angle takes out the wave of only YH which shows the time fluctuation situation of the reflected light caught by sensor 6a in a high location, and performs an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation to this wave (S2).

[0036] Drawing 11 is the wave form chart which performed the FFT signal strength operation to the wave of YH shown in drawing 9 , and was obtained as a result. In this wave form chart, an axis of ordinate expresses relative signal strength, and the axis of abscissa expresses the frequency. Relative signal strength is an amount which shows how many signal components of each frequency are contained, and this relative signal strength does not have a unit. If this drawing is seen and an FFT signal strength operation will be performed so that clearly, a difference will arise in distribution of relative signal strength also between an excellent article and a porosity article. That is, although the peak part of relative signal strength of an excellent article exists near 100Hz to 500Hz, the peak part of relative signal strength of a porosity article exists near 0Hz to 1000Hz. By the quality monitoring approach of this invention, this difference is differentiated as follows.

[0037] The inside of the wave of drawing 11 obtained as a result of performing an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation, The total value of the signal strength between 605Hz and 650Hz is computed (S3). If the total value exceeds 170,000 set up as a reference value (S4:Yes), it judges that generating of porosity is excessive (S5), and if it has not exceeded (S4:No), it will be judged that generating of porosity is in a normal range (S6). In addition, although not shown in a flow chart, the decision result of generating of porosity is displayed on display 7F.

[0038] The Mahalanobis distance is computed from the wave-like characteristic quantity of drawing 11 obtained next as a result of performing an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation (S7). It expresses with distance how many the wave-like characteristic quantity (location) of the observed work piece have separated this Mahalanobis distance from the normalized criteria space which was obtained from the wave-like characteristic quantity of an excellent article. According to the found Mahalanobis distance, a distribution map as shown in drawing 12 is created. For example, if the axis of ordinate writes the characteristic quantity (location) obtained from the wave form chart of drawing 11 in the graph used as FFT signal strength and the Mahalanobis distance to which the pair numeral of the axis of abscissa was carried out as shown in drawing 12 , it is distributed according to the characteristic quantity of each work piece.

[0039] if the Mahalanobis distance exceeds a reference value 1000 based on this distribution map (S8:Yes), under-filling will have arisen -- judging -- (S9) -- if it has not exceeded (S8:No), it is judged that under-filling is not produced (S10).

[0040] Although it judged whether generating of porosity would be excessive with the gestalt of the above operation based on the total value of the signal strength of a specific frequency band So that it may understand, if the distribution map of drawing 12 is seen a porosity article Since the Mahalanobis distance is two or less and signal strength is distributed over 170000 or more fields From the wave-like characteristic quantity of drawing 11 obtained as well as the case where generating of under-filling is judged as a result of performing an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation It can judge whether generating of porosity is excessive also by computing the Mahalanobis distance and the signal strength of a specific frequency band, and judging to which field this distance and signal strength belong.

[0041] In addition, although board thickness is 0.8mm and the case where the speed of travel welded by the welding condition of 4.5 m/min was stated with the gestalt of the above operation, the quality monitoring approach and quality monitoring apparatus of this invention are applicable also to other speed of travel and board thickness. When the speed of travel or board thickness differs from the above-mentioned welding condition, the specific frequency for judging generating of porosity is changed. This is because an effective specific frequency will also change in order to judge generating of the welding condition of porosity with this change if the speed of travel or board thickness changes. In order to maintain the precision which judges that porosity occurred, the optimal frequency for decision of generating of porosity exists naturally by the speed of travel or board thickness.

[0042] When changing this specific frequency how by change of the speed of travel or board thickness, it asked for whether decision of generating of porosity is always made to accuracy by the following experiments. Board thickness welded by piling up the steel plate of two sheets using the galvanized steel sheet which are 0.8mm, 1.0mm, and 1.2mm as a work piece. The speed of travel was changed between 3.0 m/min - 5.0 m/min. The outputs of an YAG laser are 3Kw(s) at a processing point, and this output was fixed.

[0043] First, the case where board thickness changes is explained. The experiment fixed the speed of travel by 3.5 m/min, and changed the board thickness sum total of two sheets among 1.6mm - 2.4mm. For example, when the board thickness sum total was 2.4mm and porosity occurred, the inclination for the signal strength of a 0 to 500Hz frequency band to become high was seen. When sum total board thickness was lowered, the frequency band with which signal strength becomes high became large. The result of this experiment is shown in drawing 13 .

[0044] As shown in drawing 13 , by 1.6mm, the signal strength of a 0 to 1000Hz frequency band becomes [ the board thickness sum total ] high, the signal strength of a 0 to 800Hz frequency band becomes high in 1.8mm, the signal strength of a 0 to 700Hz frequency band becomes high in 2.0mm, and the signal strength of a 0 to 500Hz frequency band becomes high in 2.4mm. Therefore, decision of generating of porosity decides which frequency band performs by what mm the board thickness sum total is. In addition, the relation of the board thickness sum total and a frequency as shown in drawing 13 is stored in the storage of a metering device 7.

[0045] Below, the case where the speed of travel changes is explained. An experiment is between 3.0 m/min - 5.0 m/min, when the board thickness sum total is 1.6mm, and when the board thickness sum total was 2.0mm, it was changed between 3.0 m/min - 5.0 m/min. In [ both of ] board thickness, the frequency band with which signal strength becomes large became small as the speed of travel became quick. The result of this experiment is shown in drawing 14 .

[0046] As shown in drawing 14 , by 1.6mm, the signal strength of a 0 to 1000Hz frequency band becomes [ the board thickness sum total / the speed of travel ] high by 3.5 m/min, the signal strength of a 0 to 800Hz frequency band becomes [ the speed of travel ] high by 4.0 m/min, by 2.0mm, the signal strength of a 0 to 700Hz frequency band becomes [ the speed of travel ] high by 4.5 m/min, and the signal strength of a 0 to 600Hz frequency band becomes [ the speed of travel ] high by 5.0 m/min.

[0047] Moreover, by 2.0mm, the signal strength of a 0 to 800Hz frequency band becomes [ the board thickness sum total / the speed of travel ] high by 3.0 m/min, the signal strength of a 0 to 700Hz frequency band becomes [ the speed of travel ] high by 3.5m, and the signal strength of a 0 to 600Hz frequency band becomes [ the speed of travel ] high by 4.0 m/min.

[0048] Therefore, decision of generating of porosity decides which frequency band performs by min [ what  $m /$  ] the speed of travel is. In addition, the relation of the board thickness sum total and a frequency as shown in drawing 13 , and the relation of the board thickness sum total, the speed of travel, and a frequency as shown in drawing 14 are stored in the storage of a metering device 7 as a table as shown in drawing 15 . This drawing shows that the effective frequency is memorized at the place which are the conditions in which the speed of travel exists, in order to judge generating of porosity. for example, the board thickness  $t_1$  of a superior lamella -- as the speed of travel showed [ the board thickness  $t_2$  of an inferior lamella ] drawing 14 by 0.8mm by 1.2mm in 3.5 m/min, the 0 to 800Hz frequency band of 3.5 m/min is used [ sum total board thickness ] for the speed of travel by 2.0mm. Moreover, as the speed of travel showed [ the board thickness  $t_1$  of a superior lamella, and the board thickness  $t_2$  of an inferior lamella ] drawing 14 by 0.8mm in 5.0 m/min, the 0 to 600Hz frequency band of 5.0 m/min is used [ sum total board thickness ] for the speed of travel by 1.6mm.

[0049] As mentioned above, it is also possible that that an effective frequency changes based on change with board thickness and the speed of travel in order to judge generating of porosity originates in a difference of the configuration of a keyhole produced in a weld zone when welding is performed.

[0050] Although the part which an ingredient fuses, i.e., a keyhole, will arise if an YAG laser beam of light hits as shown in drawing 16 , the configuration of this keyhole changes with board thickness or the speed of travel. For example, depth  $H$  of a keyhole will become large and the configuration of a keyhole will turn into a long and slender configuration, if board thickness becomes thick. Therefore, aspect ratio  $H/D$  computed from depth  $H$  of a keyhole and the width of face  $D$  of the keyhole concerned becomes large. Moreover, the width of face  $D$  of a keyhole will become small, and the configuration of a keyhole will turn into a long and slender configuration also in this case, if the speed of travel becomes quick. Therefore, aspect ratio  $H/D$  computed from depth  $H$  of a keyhole and the width of face  $D$  of the keyhole concerned becomes large.

[0051] That an effective frequency becomes low in order to judge generating of porosity also when board thickness becomes thick and the speed of travel becomes quick, as shown in drawing 13 and drawing 14 As mentioned above, since aspect ratio  $H/D$  becomes large also when board thickness becomes thick, and the speed of travel becomes quick It is thought that it is because the frequency band with which the configuration of a keyhole becomes long and slender, and the resonance frequency of a keyhole falls, consequently signal strength becomes large falls.

[0052] Therefore, you may ask for the effective frequency for judging generating of porosity by recognizing the configuration of a keyhole using a CCD camera and calculating aspect ratio  $H/D$ . (Gestalt 2 of operation) Below, the gestalt of the 2nd operation is explained. In the gestalt of the 1st operation, although only generating of porosity was judged, with the gestalt of this operation, a judgment of generating of welding conditions, such as under-filling and non-joining, is also further made on accuracy.

[0053] In addition, also with the gestalt of this operation, since the configuration of the quality monitoring apparatus of the laser-welding section is completely the same as that of what was shown in drawing 4 from drawing 1 , explanation of those configurations is omitted. In the gestalt of this operation, personal computer 7E shown in drawing 4 In addition, the function as a storage means, The signal strength in the 1st frequency band for detecting generating of under-filling, The function as a signal strength calculation means to compute the signal strength in the 3rd frequency band for detecting generating of the signal strength in the 2nd frequency band for detecting generating of porosity, and non-joining, It has the function as a welding quality decision means to judge generating of the welding condition of under-filling, porosity, and non-joining, and the function as a division means to divide aging of an electrical signal to one welding part memorized into time series to two or more fields.

[0054] The processing for detecting the welding condition of under-filling, porosity, and non-joining by the monitoring apparatus concerning this invention is explained referring to drawing 25 from the flow chart and drawing 19 of drawing 18 . The data point shown in drawing 21 from drawing 19 is obtained as a result of being measured based on the following welding condition (basic welding condition). The outputs of an YAG laser are 3Kw(s) at a processing point. The thickness of a galvanized steel sheet used

the 0.8mm thing, respectively. The speed of travel is 4.5 m/min.

[0055] It enables it to also detect the welding condition of non-joining with the gestalt of this operation. Non-joining is imperfect welding from which desired welding reinforcement is not obtained. As shown in drawing 17, when welding the steel plate of two sheets in piles, in the matching section 20 of an up-and-down steel plate, it produces the welding condition of non-joining that the clearance 40 between the plate is too large owing to. It is because melting of the weld zone will not fully be carried out, without heat fully turning even around a lower steel plate if a clearance 40 is too large.

[0056] The flow chart of drawing 18 shows the procedure of the monitoring approach concerning this invention. If an YAG laser beam of light is irradiated by the matching section 20 of a galvanized steel sheet as shown in drawing 6, the irradiated part will fuse in response to the energy of a laser beam. Since the fused metal is very an elevated temperature, from a keyhole 25 and a plume 28, the light, infrared light, the reflected light of an YAG laser beam of light, etc. are emitted to a radial. Sensor 6a and sensor 6b carry out incidence of such light, and change them into an electrical signal. The changed electrical signal is stored in the storage which personal computer 7E (refer to drawing 4) does not illustrate for every welding part (S21).

[0057] Drawing 19 and drawing 20 are the wave form charts (changed with the photodiode 9) of the electrical signal acquired from the reflected light of an YAG laser beam of light when welding is performed under a basic welding condition. The wave form chart of these electrical signals is created with the sampling frequency of 20kHz. In these wave form charts, an axis of ordinate expresses signal strength (electrical-potential-difference value), and the axis of abscissa expresses time amount. These wave form charts show the time fluctuation situation (aging) of the reflected light in a certain welding part caught by sensor 6a which has an observation include angle in a high location. The wave of the "excellent article" with which normal welding was performed in drawing 19, and the "non-joining article" it has been unrefined to imperfect welding is shown, and the wave of the "under-filling article" which under-filling produced, and a "porosity article" with excessive generating of porosity is shown in drawing 20. Since only the wave configurations of an under-filling article differ clearly as for other wave configurations when these wave form charts are contrasted, decision of that it is an under-filling article is easy. However, a clear difference is not seen even if it compares the wave configuration of a non-joining article and a porosity article with the wave configuration of an excellent article. For this reason, it is difficult to discern these welding conditions from this wave form chart.

[0058] Thus, differentiation with an excellent article, a non-joining article and an excellent article, and a porosity article is difficult only by investigating the time on-the-strength change condition of the reflected light. For this reason, among the waves stored in storage, an observation include angle takes out the wave which shows the time fluctuation situation of the reflected light of one welding part caught by sensor 6a in a high location, and performs an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation to this wave (S22).

[0059] Drawing 21 is the wave form chart which performed the FFT signal strength operation to wave-like each which was shown in drawing 19 and drawing 20, and was obtained as a result. In this wave form chart, an axis of ordinate expresses signal strength and the axis of abscissa expresses the frequency. Signal strength is an amount (area) which shows how many signal components of each frequency are contained, and this signal strength does not have a unit.

[0060] If this drawing is seen and an FFT signal strength operation will be performed so that clearly, a difference will arise in distribution of signal strength about each of an "excellent article", a "non-joining article", an "under-filling article", and a "porosity article." By the quality monitoring approach of this invention, this difference is differentiated as follows.

[0061] A 0-1000Hz frequency band is set as the 1st frequency band for detecting generating of under-filling among the waves of drawing 21 obtained as a result of performing an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation, and a 0-1000Hz frequency band is similarly set as the 2nd frequency band for detecting generating of porosity. It is set as such a frequency band because generating of under-filling or porosity detected clearly with this frequency band according to the result of an experiment. Here, as the gestalt of the 1st operation also described, it is necessary to change a



frequency band effective [ although the 1st and 2nd frequency bands are used as the same frequency band ] in order to detect generating of porosity according to board thickness or the speed of travel. Therefore, the 2nd frequency band for detecting generating of porosity depending on board thickness or the speed of travel changes like 0-600Hz.

[0062] And a 3000 to 6000Hz frequency band is succeedingly set as the 3rd frequency band for detecting generating of non-joining. It is because it is in the inclination for the signal strength of this frequency band to become high as compared with signal strength when under-filling or porosity occurs when non-joining occurs so that it may understand, if drawing 21 is seen. Moreover, this frequency band was set up because generating of non-joining detected clearly with this frequency band according to the result of an experiment.

[0063] It asks for the signal strength of these frequency bands, and plots virtually to biaxial system of coordinates like drawing 22 prepared virtually. They are the system of coordinates these biaxial system of coordinates indicate signal strength [ in / in an axis of abscissa / a 0Hz - 1000Hz frequency band (the 1st frequency band and 2nd frequency band) ] to be, and an axis of ordinate indicates the magnitude of the signal strength in 3000Hz-6000Hz (the 3rd frequency band) to be, respectively.

[0064] For example, although a wave as shown in drawing 21 is acquired, in the case of an under-filling article, it asks for the area obtained from the wave of a 0Hz - 1000Hz frequency band, and the area obtained from the wave of a 3000Hz-6000Hz frequency band from this wave, and it plots each area on an axis of abscissa and an axis of ordinate. This plot shows that an under-filling article (\*\* mark) is in the inclination to be distributed in the field where the signal strength of the axis of abscissa of biaxial system of coordinates and an axis of ordinate is small, as shown in drawing 22 . similarly in the case of a porosity article (\*\* mark), the signal strength of the axis of ordinate of biaxial system of coordinates is in the inclination to be distributed over the small field where the signal strength of an axis of abscissa is large -- moreover, in the case of a non-joining article (<> mark), it turns out that the signal strength of the axis of ordinate of biaxial system of coordinates is in the inclination to roughly be distributed over the field of the whole axis of abscissa. Furthermore, in the case of an excellent article (O mark), it turns out that the signal strength of the axis of ordinate of biaxial system of coordinates is in the inclination to be distributed over the field whose signal strength of an axis of abscissa is medium extent small.

[0065] It turned out that it is divided as each distribution field shows drawing 23 as a result of investigating about much weldments how an under-filling article, a porosity article, a non-joining article, and an excellent article are distributed over the above-mentioned biaxial system of coordinates. Moreover, when the phenomenon of under-filling, porosity, and non-joining is put together selectively and it generates in one welding part, it is possible to be distributed near the boundary of each field. For this reason, by this invention, distinction of the class of welding condition specified the difficult mixture field like drawing 24 . Therefore, an under-filling field, an excellent article field, a porosity field, a non-joining field, and a mixture field exist in imagination biaxial system of coordinates. In addition, by what width of face a mixture field is taken determines according to the result of an experiment or employment of this technique.

[0066] In addition, although these imagination biaxial system of coordinates are made from personal computer 7E shown in drawing 4 , these fields are not necessarily actually made as a two-dimensional flat surface. Moreover, although that result of an operation is virtually plotted by these biaxial system of coordinates based on the result of an operation of each above-mentioned signal strength, that plot is not actually performed on that two-dimensional flat surface. The numerical range of the signal strength which forms each field in personal computer 7E is memorized, and personal computer 7E can judge immediately which welding condition occurred by whether the result of an operation belongs to the numerical range of which field, and whether it is an excellent article again.

[0067] It returns to the flow chart of drawing 18 , and the signal strength of 0-1000Hz and 3000Hz - 6000Hz is computed to the wave which is acquired during welding and which was shown in drawing 21 (S23). The coordinate in the biaxial system of coordinates specified with the signal strength of 0-1000Hz and the signal strength of 3000Hz - 6000Hz which were computed judges which field shown in drawing 24 it is (S24).

[0068] And if the coordinate belongs to the excellent article field set up beforehand (S24:YES), welding of the welding part will be judged to be what was performed normally (excellent article) (S25). On the other hand, if the coordinate does not belong to the excellent article field set up beforehand (S24:NO), it judges whether the coordinate belongs to one field of the under-filling field set up beforehand, a porosity field, and a non-joining field (S26).

[0069] If the coordinate belongs to one field of an under-filling field, a porosity field, and a non-joining field (S26:YES), it will be judged that the welding condition of the field which belongs has arisen and there is a problem in the quality of welding of the welding part (S27). In addition, although not shown in a flow chart, it is displayed on display 7F that it was an excellent article and that it could creep and there was generating of that welding condition. By the above processing, the decision over the one whole welding part is completed.

[0070] On the other hand, if it belongs to the mixture field of drawing 24 if the coordinate does not belong to one field of an under-filling field, a porosity field, and a non-joining field, either namely, (S26:NO), as shown in drawing 25, the welding part will be divided into two or more fields, and the right or wrong of a welding condition will be again judged to each field.

[0071] A judgment of the right or wrong of a welding condition for the second time is made in the following procedures.

[0072] As mentioned above, although the storage of personal computer 7E memorizes, aging of the electrical signal outputted from sensor 6a to one welding part divides aging of this electrical signal memorized into time series to two or more fields, when judging the right or wrong of a welding condition for the second time. For example, as the weld length of a certain welding part shows drawing 25, when it is 30mm, the welding part is divided into five every 6mm, for example, and it judges whether they are that what kind of welding condition has occurred about each field of each which was divided, or an excellent article in the above-mentioned procedure and every one completely same procedure.

[0073] When division of this field is applied about the electrical signal memorized, since the speed of travel is 4.5 m/min with the gestalt of this operation, although a 30mm welding part is welded, it will require 0.4 sec. Therefore, the electrical signal of this welding part memorized by storage is an electrical signal for 0.4sec. For dividing this into five as mentioned above, 0.08 secs of this electrical signal are divided into each time series. By this division, the electrical signal of five time zones, the 1st time zone of 0-0.08sec, the 2nd time zone of 0.08sec-0.16sec, the 3rd time zone of 0.16sec-0.24sec, the 4th time zone of 0.24sec-0.32sec, and the 5th time zone of 0.32sec-0.40sec, is acquired about that welding part. In addition, although it is desirable to perform division in an about 1 to about 8mm unit, it is also required to change flexibly according to the configuration of a welding part or the decision precision of welding quality desired.

[0074] It takes out one [ at a time ] the electrical signal of these time zones from storage, and an FFT (fast Fourier transform) signal strength operation is performed to the wave of these five electrical signals (S28). And the signal strength of 0-1000Hz and 3000Hz - 6000Hz is computed to each wave (S29). It judges in which field of each in the biaxial system of coordinates shown in drawing 24 the signal strength of 0-1000Hz and the signal strength of 3000Hz - 6000Hz which were computed, respectively exist (S30). Non-joining has arisen in the field ( drawing 25 left end field) which is equivalent to the 1st time zone with the processing so far as shown in drawing 25, non-joining has arisen also in the field (field of the right-hand) equivalent to the 2nd time zone, and it is judged from the 3rd remaining time zones that the 5th time zone (field to the remaining right ends) is an excellent article.

[0075] Next, the excellent article rate to the welding part is computed (S31). Since one of welding conditions had arisen to two fields in the field divided into five in the above-mentioned case, an excellent article rate becomes 60%.

[0076] If the number of the fields judged to be an excellent article is over the need excellent article rate (for example, 70%) beforehand set up to the number of the divided fields (S32:YES), it will be judged that the welding part will be an excellent article if it sees as a whole (S33). Using such technique counts upon generating of welding conditions, such as under-filling, porosity, and non-joining, for example in a



certain welding part. If it excels rather than the weld length as which the die length of the computed excellent article part is required on a design when having set up for a long time than the weld length of which the weld length is required on a design, even if it judges the welding part to be an excellent article synthetically, it will be because a welding quality top is satisfactory.

[0077] If the number of the fields judged to be an excellent article on the other hand is not over the need excellent article rate (for example, 70%) beforehand set up to the number of the divided fields (S32:NO), as for the welding part, welding conditions, such as under-filling, porosity, and non-joining, exist, and it is judged that the welding part is seen synthetically and a problem is in welding quality (S34). In addition, although not shown in a flow chart, it sees synthetically and it is displayed on display 7F that it was an excellent article or that it saw synthetically and the problem was in welding quality.

[0078] Thus, if a re-judgment over the welding part is made when it is decision that a problem has the decision over a certain whole welding part in welding quality, decision precision can be raised as compared with the appraisal method of only the whole welding part.

[0079] The above processing is performed to welding and coincidence on real time. Moreover, even if the above-mentioned division judgment is made, the decision will be ended by the time welding of the next welding part is performed. And if it is judged that a problem has the welding part in welding quality eventually, paint will be sprayed on the welding part. Although dozens of welding parts may exist in one work piece, the final inspection in an after process becomes easy by spraying paint in this way. By the final inspection, it is judged by human being's eyes once again whether a problem has truly the part which was able to spray paint in welding quality. When this final inspection is also judged that a problem is in welding quality, that work piece is conveyed by the backup process and a remedy activity is done.

[0080] In addition, the above processing described the case where board thickness or the speed of travel was fixed. As the gestalt of the 1st operation also described, the optimal frequency for decision of generating of porosity exists naturally by board thickness, the speed of travel, or the aspect ratio. Therefore, the frequency (the gestalt of this operation the 2nd frequency band) is changed by board thickness, the speed of travel, or the aspect ratio with the gestalt of this operation as well as the case of the gestalt of the 1st operation. In addition, since the gestalt of the 1st operation explained to the detail what kind of frequency it would be made by change of making it what kind of frequency by change of board thickness, or the speed of travel, explanation here is omitted.

[0081] In order to detect generating of each kind of welding condition, it becomes unnecessary as mentioned above, according to the gestalt of this operation, to carry out complicated data processing different, respectively like before, since generating of welding conditions, such as porosity, under-filling, and non-joining, can completely be judged by the same data processing. Therefore, the processing burden of CPU to the computation becomes quite small.

[0082] moreover, by the technique of division decision, it can judge easily, and the decision precision of the class of generated welding condition also boils markedly one which has been generated into a part of part which welded of welding conditions, and improves.

---

[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-321073

(P2002-321073A)

(43) 公開日 平成14年11月5日 (2002. 11. 5)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	データベース*(参考)
B 2 3 K 26/00		B 2 3 K 26/00	P 2 G 0 5 1
G 0 1 N 21/88		G 0 1 N 21/88	Z 4 E 0 6 8

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号 特願2001-381889(P2001-381889)  
(22) 出願日 平成13年12月14日 (2001. 12. 14)  
(31) 優先権主張番号 特願2001-48756(P2001-48756)  
(32) 優先日 平成13年2月23日 (2001. 2. 23)  
(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000003997  
日産自動車株式会社  
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地  
(72) 発明者 森 清和  
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内  
(72) 発明者 武村 伸介  
神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内  
(74) 代理人 100072349  
弁理士 八田 幹雄 (外4名)

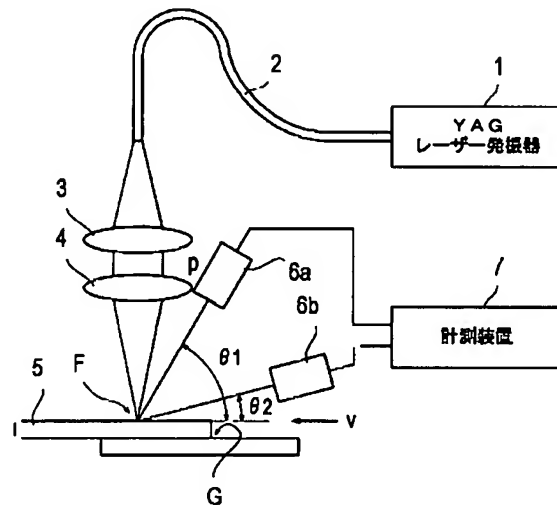
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置

(57) 【要約】

【課題】 レーザー溶接部のポロシティーの発生を確実に検出する。

【解決手段】 ワーク5の溶接部Fに向けて照射したレーザー光線の反射光をセンサ6aで検出して電気信号に変換し、計測装置7において、その電気信号の周波数分布を算出し、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出し、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出する段階と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する段階と、を含むことを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項2】 前記周波数分布を算出する段階は、検出された反射光を電気信号に変換する段階と、変換された電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する段階と、を有することを特徴とする請求項1に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項3】 前記信号強度を算出するための特定の周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比 $H/D$ の内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項4】 前記信号強度の算出は、信号強度の周波数分布を算出する高速フーリエ変換（FFT）を用いて、または、前記特定の周波数帯のみの信号を通過させる帯域フィルタを用いて行われることを特徴とする請求項1または請求項2に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項5】 ワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射するYAGレーザーと、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する反射光検出手段と、検出された反射光を電気信号に変換する電気信号変換手段と、変換された電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段と、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出する信号強度算出手段と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する溶接品質判断手段とを有することを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項6】 前記反射光検出手段は、前記YAGレーザー光線の反射光のみを検出するために、前記YAGレーザー光線の波長の光だけを透過させる干渉フィルタを有することを特徴とする請求項5に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項7】 前記信号強度算出手段は、信号強度を算出するための特定の周波数帯を、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比 $H/D$ の内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項5に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項8】 前記信号強度算出手段は、信号強度の周波数分布を算出する高速フーリエ変換（FFT）を用いて、または、前記特定の周波数帯のみの信号を通過させる帯域フィルタを用いて、信号強度を算出することを特徴とする請求項5に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項9】 YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットする段階と、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態の発生を判断する段階と、を含むことを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項10】 前記周波数分布を算出する段階は、検出された反射光を電気信号に変換する段階と、変換された電気信号の経時変化を記憶する段階と、電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する段階と、を有することを特徴とする請求項9に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項11】 前記2軸座標系には、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれかの溶接状態の発生

を判断するための、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域が規定されていることを特徴とする請求項9または請求項10に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項12】 前記2軸座標系には、さらに、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれかの溶接状態が発生していないことを判断するための、良品領域が規定されていることを特徴とする請求項11に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項13】 前記2軸座標系のアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域それぞれの境界には、溶接状態の種類を特定することが困難な混在領域が規定されていることを特徴とする請求項12に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項14】 さらに、いずれかの周波数帯の信号強度の仮想的なプロットが前記混在領域にされたときには、1つの溶接箇所に対して記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する段階と、

分割された各領域における電気信号の経時変化に基づいて、前記領域ごとに前記電気信号の周波数分布を算出する段階と、

前記領域ごとに算出された周波数分布のそれぞれに対して、前記第1の周波数帯における信号強度または前記第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、前記第3の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、

前記2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を、前記領域ごとに仮想的にプロットする段階と、

前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態の発生を、前記領域ごとに判断する段階と、

前記判断に基づいて、前記溶接個所の品質の状態を総合的に判断する段階と、

を有することを特徴とする請求項13に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項15】 前記溶接個所の品質の状態を総合的に判断する段階は、

アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態が発生していると判断された前記領域の数が、前記分割した領域の数に対して一定の割合を超えている場合には、その溶接個所の品質には問題があると判断し、そうでない場合には、その溶接個所の品質には問題がないと判断することを特徴とする請求項14に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項16】 前記信号強度を算出するための、前記第1から第3の各周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホルの深さHと当該キーホルの幅Dとから算出されるアスペクト比

H/Dの内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項9、請求項10、または請求項14のいずれかに記載のレーザー溶接部の品質モニタリング方法。

【請求項17】 ワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射するYAGレーザーと、

照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する反射光検出手段と、

検出された反射光を電気信号に変換する電気信号変換手段と、

変換された電気信号の経時変化を記憶する記憶手段と、

電気信号の経時変化に基づいて当該電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段と、

算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する信号強度算出手段と、

一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットし、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態の発生を判断する溶接品質判断手段と、を有することを特徴とするレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項18】 前記反射光検出手段は、前記YAGレーザー光線の反射光のみを検出するために、前記YAGレーザー光線の波長の光だけを透過させる干渉フィルタを有することを特徴とする請求項17に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項19】 前記2軸座標系には、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれかの溶接状態の発生を判断するための、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域が規定されていることを特徴とする請求項17に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項20】 前記2軸座標系には、さらに、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のいずれの溶接状態も発生していないことを判断するための、良品領域が規定されていることを特徴とする請求項19に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項21】 前記2軸座標系のアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域それぞれの境界には、溶接状態の種類を特定することが困難な混在領域が規定されていることを特徴とする請求項20に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項22】 さらに、いずれかの周波数帯の信号強度の仮想的なプロットが前記混在領域にされたときには、前記記憶手段に記憶されている1つの溶接個所に対する電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する分割手段を有し、前記溶接品質判断手段は、前記領域ごとにアンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態の発生を判断し、その判断に基づいて、前記溶接個所の品質の状態を総合的に判断することを特徴とする請求項21に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項23】 前記溶接品質判断手段は、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態が発生していると判断された前記領域の数が、前記分割した領域の数に対して一定の割合を超えている場合には、その溶接個所の品質には問題があると判断し、そうでない場合には、その溶接個所の品質には問題がないと判断することを特徴とする請求項22に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【請求項24】 前記信号強度を算出するための、前記第1から第3の各周波数帯は、前記ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホールの深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比 $H/D$ の内の少なくとも1つの数値に応じて変化させることを特徴とする請求項17または請求項22に記載のレーザー溶接部の品質モニタリング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置に係り、特に、レーザー溶接部のポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生をモニタリングすることができる、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】自動車のボディーに使用されるような、非常に薄い鋼板の溶接は、レーザー溶接によって行われるものもある。レーザー溶接が用いられるのは、レーザー溶接は、スポット溶接と比較すると、鋼板を表裏両面から挟む必要がなく、片面からの溶接が可能であることや、細く複雑な形状の溝であってもその内部を容易に溶接できることなど、多くの利点を備えているからである。しかし、その一方では、鋼板の合わせ精度不良による溶接品質の低下や、溶接部の汚染に起因する突発的な溶接品質の低下を起こしやすいという欠点がある。

【0003】したがって、従来、たとえば特開平2000-271768号公報に開示されているようなモニタリング方法を用いて、レーザー溶接部の品質の状態をリアルタイムに予測できるようにしている。上記公報に開示されている技術では、検出角度の異なる2つのセンサ

によって、レーザー溶接部のキーホールで発生するブルームからの光と照射したYAGレーザーの反射光とを検出し、それぞれのセンサで検出された光の強度により溶接条件（出力、焦点位置、ワーク間隙）の変化を検出して、レーザー溶接部の品質の状態をリアルタイムに予測している。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、従来の溶接品質のモニタリング方法では、レーザー溶接部に溝ができてしまうという溶接状態（アンダーフィル）、規定の溶接条件から逸脱してしまうという溶接条件不適合の発生は検出できるものの、亜鉛メッキ鋼板などのレーザー溶接時に発生する、溶接部のポロシティー（多孔質化）の発生は検出し難いという問題がある。

【0005】ポロシティーの発生が検出し難いのは、従来の溶接品質のモニタリング方法が、レーザー光が照射されて溶融している部分（キーホール）から発せられる光に基づいて、溶接品質の状態を判断しているためである。なぜならば、ポロシティーは、キーホール内に亜鉛蒸気が混入することで発生するが、亜鉛蒸気が混入しても、キーホールから発せられる光はほとんど変化しないからである。

【0006】また、従来の溶接品質のモニタリング方法では、重ね溶接を行う場合、上下の板間隙間が大きすぎると、上下の板の溶着が不完全な未溶着状態が発生するが、この未溶着状態の発生も検出し難いという問題がある。

【0007】従来の溶接品質のモニタリング方法でも、ポロシティーおよび未溶着を除くアンダーフィルなどの溶接状態、溶接条件不適合の発生は検出できるが、その検出方法は溶接状態の種類ごとに異なっているため、その検出をするために非常に複雑な計算処理が必要になる。したがって、その計算処理に対するCPUの処理負担が大きくなるという問題もある。

【0008】さらに、従来の溶接品質のモニタリング方法では、溶接を行った部分の全体に渡って、ポロシティーおよび未溶着を除くアンダーフィルなどの溶接状態、溶接条件不適合状態が発生した場合には、それらの状態の発生は容易に検出できるが、溶接を行った部分の一部だけにそれらの状態が発生した場合には、それらの状態の発生を容易に検出することができないという問題もある。

【0009】本発明は、このような従来の問題点に鑑みて成されたものであり、レーザー溶接部のポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生をCPUの処理負担を大きくせずに確実に検出することができる、また、レーザー溶接部の一部分における、ポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生も確実に検出することができる、レーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置の提供を目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】上記した課題を解決し、目的を達成するため、請求項1に記載の発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法は、YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうちの特定の周波数帯における信号強度を算出する段階と、算出された信号強度があらかじめ設定されている基準値を超えていれば、ポロシティーの発生が過大であると判断し、基準値を超えていなければポロシティーの発生が正常範囲内であると判断する段階と、を含むことを特徴とする。

【0011】この請求項1に記載の発明によれば、ポロシティーの発生の検出に適したYAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、過度のポロシティーの発生の検出に必要な、特定の周波数帯の信号強度だけを抽出しているため、その抽出した信号の信号強度に基づいて、ポロシティーの発生の程度が容易に判断できる。したがって、従来は検出することが困難であった、過度のポロシティーの発生が確実に検出できる。

【0012】上記した課題を解決し、目的を達成するため、請求項9に記載の発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法は、YAGレーザーからワークの溶接部に向けてレーザー光線を照射する段階と、照射したレーザー光線の当該溶接部からの反射光を検出する段階と、検出された反射光から得られる信号の周波数分布を算出する段階と、算出された周波数分布のうち、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度またはポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度の内の少なくとも1つの信号強度と、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する段階と、一方の軸が、前記第1の周波数帯と前記第2の周波数帯の信号強度の大きさを示し、他方の軸が、前記第3の周波数帯の信号強度の大きさを示す、仮想的な2軸座標系に、算出された前記各周波数帯の信号強度を仮想的にプロットする段階と、前記各周波数帯の信号強度が仮想的に前記2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着のうち少なくとも1つの溶接状態の発生を判断する段階と、を含むことを特徴とする。

【0013】この請求項9に記載の発明によれば、YAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の内の少なくとも1つの溶接状態の発生の検出に適した、第1～第3の周波数帯の信号強度をそれぞれ抽出し、それらの信号強度が2軸座標系のどの領域に

プロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断するので、複数の溶接状態の発生が確実に検出できる。

## 【0014】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1から請求項8に記載の発明によれば、ポロシティーの発生の検出に適したYAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、過度のポロシティーの発生の検出に必要な、特定の周波数帯の信号強度だけを抽出しているため、従来は検出することが困難であった、過度のポロシティーの発生が確実に検出できる。

【0015】また、信号強度を算出するための特定の周波数帯を、ワークの板厚、溶接速度、前記ワークにおける溶接部のキーホール深さHと当該キーホールの幅Dとから算出されるアスペクト比 $H/D$ の内の少なくとも1つの数値に応じて変化させているため、板厚、溶接速度、アスペクト比の相違によるポロシティーの発生検出精度のばらつきが解消できる。

【0016】また、請求項9から請求項24に記載の発明によれば、YAGレーザー光線の反射光を検出し、その反射光に基づいて生成された信号から、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の内の少なくとも1つの溶接状態の発生の検出に適した、第1～第3の周波数帯の信号強度をそれぞれ抽出し、それらの信号強度が2軸座標系のどの領域にプロットされるかによって、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断するので、複数の溶接状態の発生が確実に検出できる。また、いずれかの溶接状態が発生していること、または、いずれの溶接状態も発生していないことを、明確に判断できないときには、1つの溶接箇所に対して記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割し、その分割した各領域について、溶接箇所の品質の状態を再判断するので、いずれかの溶接状態の発生の是非が総合的に判断しやすくなり、さらに高精度にいずれかの溶接状態の発生の判断ができるようになる。

## 【0017】

【発明の実施の形態】以下に添付図面を参照して、本発明にかかるレーザー溶接部の品質モニタリング方法およびその装置の好適な実施の形態を、実施の形態1（請求項1～8に対応）と実施の形態2（請求項9から24に対応）に分けて、被溶接部材が亜鉛メッキ鋼板である場合を例にとって詳細に説明する。

（実施の形態1）図1は、本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の具体的な構成図である。

【0018】YAGレーザー溶接装置100の上部には、光ファイバーケーブル2が取り付けられ、光ファイバーケーブル2によって、図示されていないYAGレーザー発振器（YAGレーザー）からのレーザー光線がYAGレーザー溶接装置100に導かれる。YAGレーザ

ー溶接装置100の中央部から下部にかけて、導かれたレーザー光線を集光するための集光光学系が配置されている。その集光光学系は、コリメーターレンズ3と集光レンズ4とを有し、導かれたレーザー光線は、コリメーターレンズ3によって平行光線にされた後、集光レンズ4によってワーク（車体パネル）5の表面に集光される。集光された部分（溶接部）は、レーザー光線のエネルギーによって熔融され、ワーク同士が溶接される。

【0019】また、YAGレーザー溶接装置100の下部側面には、ワーク5の表面から仰角 $\theta 1$ （ $\theta 1$ ）の位置に反射光検出手段として機能するセンサ6aと、仰角 $\theta 2$ （ $\theta 2$ ）の位置にセンサ6bとが配置されている。センサ6aは、主に溶接部に照射されたのちワーク5に吸収されることなく反射したレーザー光線の反射光を検出するためのセンサである。センサ6bは、溶接に際して溶接部から発生するプラズマ光（可視光）を検出するためのセンサである。両センサ6a、6bによって検出された光（反射光とプラズマ光）に基づいて溶接部の溶接品質がリアルタイムに判断される。本発明のモニタリング方法およびモニタリング装置は、レーザー光線の反射光を用いてポロシティーの発生を検出するので、センサ6aが特に重要なセンサになる。

【0020】図2は、本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の概念図である。図に示すYAGレーザー溶接装置は、YAGレーザー発振器1を備え、このYAGレーザー発振器1で発生したレーザー光線は光ファイバーケーブル2によって集光光学系に導かれ、コリメーターレンズ3によって平行光とされたのち、集光レンズ4によりワーク5の表面に集光され、その集光されたレーザー光線のパワーによってワーク5を溶接する。

【0021】一方、ワーク5の表面からの仰角 $\theta 1$ が $60^\circ$ となる第1の位置にはセンサ6aが配設され、このセンサ6aによって、溶接部Fに照射されたのちワーク5に吸収されることなく反射したYAGレーザーの反射光がその強度に応じた電気信号に変換される。したがって、センサ6aは、電気信号変換手段として機能する。また、ワーク5の表面からの仰角 $\theta 2$ が $10^\circ$ となる第2の位置にはセンサ6bが配設され、このセンサ6bによって、溶接に際して溶接部Fで発生するブルーム（高温の金属蒸気）からのプラズマ光（可視光）がその強度に応じた電気信号に変換される。両センサ6a、6bによって変換された電気信号は、増幅器（アンプ）、バンドパスフィルター、A/D変換器、パソコンなどから構成される計測装置7に入力される。

【0022】前記センサ6a、6bは、図3に示すように、2つのフォトダイオード8、9と、ダイクロイックミラー10、および $1064\text{ nm} \pm 10\text{ nm}$ の波長のみを透過する干渉フィルタ11から構成されている。

【0023】当該センサ6aおよび6bにおいては、ま

ず、図中の左側から入射した溶接部からの光がダイクロイックミラー10によって波長に応じて選択される。すなわち波長 $500\text{ nm}$ 以下の可視光はダイクロイックミラー10に反射されてフォトダイオード8に導かれ、プラズマ光として電気信号に変換されて、その強度が検出される。一方、溶接部からの入射光のうちの赤外光は、ダイクロイックミラー10を透過したのち、 $1.06\text{ }\mu\text{ m}$ の波長を有するYAGレーザー光のみが干渉フィルタ11を透過してフォトダイオード9に導かれ、YAG反射光として電気信号に変換され、前記計測装置7にそれぞれ入力される。本発明のモニタリング方法およびモニタリング装置は、レーザー光線の反射光を用いてポロシティーの発生を検出するので、センサ6aに設けられているフォトダイオード9からの電子信号を用いることになる。

【0024】図4は、図2に示した計測装置7の具体的な構成を示す図である。この計測装置7は、各センサ6a、6bに設けられているフォトダイオード8、9のそれぞれに対して設けられている。したがって、本発明のモニタリング装置には4台の計測装置7が設けられている。各計測装置7の構成は同一である。

【0025】計測装置7は、フォトダイオード9からの電気信号を一定のレベルまで増幅する増幅器（アンプ）7A、増幅器7Aから出力されたアナログの電気信号をデジタルの電気信号に変換するA/D変換器7B、7D、特定の周波数帯域の電気信号のみを通過させるバンドパスフィルター7C、入力された電気信号の周波数分布を算出する周波数分布算出手段としての機能、特定の周波数帯における信号強度を算出する信号強度算出手段としての機能、および、ポロシティーの発生状況を判断する溶接品質判断手段としての機能を備えたパソコン7E、溶接品質の判断結果を表示するためのディスプレイ7Fから構成される。

【0026】図5から図7は、溶接品質の検出原理の説明に供する図である。溶接部からの光を分析することによってなぜ溶接品質が検出できるのかを、これらの図に基づいて説明する。図5、図6は、溶接の被対象物である亜鉛めっき鋼板を重ね溶接した場合のポロシティーの発生状況を示している。図5に示すように、YAGレーザー溶接装置100により、亜鉛めっき鋼板の突合せ部20に高パワー密度のYAGレーザー光線が照射されると、照射された部分（溶接部）がレーザー光線のエネルギーを受けて熔融し始め、金属が熔融しているキーホール25が形成される。このとき、鋼板の表面にメッキされている亜鉛メッキ層21は、母材である鋼22の熔融温度では金属蒸気となってしまう、金属蒸気の圧力によってキーホール25内に気泡状のポロシティー（ブローホール）23が発生する。

【0027】図6に示すように、レーザー光線は、キーホール25の前面の壁26で吸収されている。亜鉛メッ



キ鋼板の重ね溶接では、2枚の鋼板の界面に存在する亜鉛メッキ層21が溶けたときに、亜鉛金属蒸気27がキーホール25内に噴出する。これがポロシティー23になる。YAGレーザー光線による溶接では、レーザー光線の波長が $1.06\mu\text{m}$ 程度と短いため、亜鉛金属蒸気27がキーホール25の開口部より噴出したブルーム28に対しては、レーザー光線はほぼ透明である。したがって、ブルーム28を観察してもポロシティー23の有無のような高速度な現象をつかまえることはできない。

【0028】ところが、YAGレーザー光線の反射光は、キーホール25前面の壁26の状態によって変化すると考えられる。亜鉛金属蒸気27の噴出によってキーホール25前面の壁26の状態が変動すると、レーザー光線の反射光も変動することになる。この現象は、鋼板界面付近のキーホール25内部で起こるので、観察角度が低い位置にあるセンサ6bではとらえることができず、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってのみとらえることができる。

【0029】したがって、センサ6aを設置する角度は、キーホール25前面の壁26の変動状態が反射光によってとらえることができる角度の範囲内で設定する必要がある。実際には、溶接部に照射されるレーザー光線に干渉せずに、キーホール25前面の壁26の変動状態が反射光によってとらえることができる範囲の、仰角45度から70度の範囲の角度である。なお、この角度の範囲内でのさらに最適な角度は、板厚、板間の隙間、レーザー光線のパワーや焦点位置などの溶接条件に応じて決まる。本実施の形態では、図1に示したように仰角60度としている。

【0030】また図7に示すように、亜鉛メッキ鋼板同士が突合せ部20においてきちんと接触してなく、多少の隙間30が生じてしまっている場合には、キーホール25で溶融した金属がその隙間30に流れ込むために、アンダーフィル31という溶接状態が発生する。このアンダーフィル31の発生は、観察角度の低い位置にあるセンサ6bによってもとらえることができる。

【0031】つぎに、本発明にかかるモニタリング装置でポロシティーを検出するための処理を、図8のフローチャートおよび図9から図12を参照しながら説明する。図9から図12に示されている波形などのデータは、次の溶接条件（基本溶接条件）に基づいて測定された結果得られたものである。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwである。亜鉛メッキ鋼板の厚みはそれぞれ0.8mmのものをを用いた。溶接速度は4.5m/minである。

【0032】図8のフローチャートは、本発明にかかるモニタリング方法の手順を示したものである。図6に示したように、YAGレーザー光線が亜鉛メッキ鋼板の突合せ部20に照射されると、照射された部分がレーザー光線のエネルギーを受けて溶融する。溶融した金属は非

常に高温であるから、キーホール25およびブルーム28からは、可視光、赤外光、YAGレーザー光線の反射光などが放射状に放出される。センサ6aとセンサ6bは、これらの光を入射し、電気信号に変換する。変換された電気信号は、パソコン7E（図4参照）の図示しない記憶装置に格納される（S1）。

【0033】図9は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の（フォトダイオード9で変換された）波形図である。この電気信号の波形図は、サンプリング周波数20KHzで作成されたものである。この波形図において、縦軸は信号強度を表し、横軸は時間を表している。また、YHは、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた反射光の時間的変動状況を示している。YLは、観察角度が低い位置にあるセンサ6bによってとらえられた反射光の時間的変動状況を示している。この図では、正常な溶接が行われた「良品」、ポロシティーの発生が過大である「ポロシティー品」、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」の波形が示されている。アンダーフィル品の場合、良品の場合とは明らかにその波形形状が異なるので、アンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、ポロシティー品の場合には、良品の場合との比較だけでは、波形形状に相違が見られないことから、ポロシティー品であることの判断は困難である。

【0034】図10は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、キーホール25およびブルーム28の可視光から得られた電気信号の（フォトダイオード8で変換された）波形図である。この波形図も、サンプリング周波数20KHzで作成されたものである。この波形図において、縦軸は信号強度を表し、横軸は時間を表している。また、YHは、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた可視光の時間的変動状況を示している。YLは、観察角度が低い位置にあるセンサ6bによってとらえられた可視光の時間的変動状況を示している。この図では、正常な溶接が行われた「良品」、ポロシティーの発生が過大である「ポロシティー品」、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」の波形が示されている。アンダーフィル品の場合、良品の場合とは明らかにその波形が異なるので、アンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、ポロシティー品の場合には、良品の場合との比較だけでは、波形形状に相違が見られないことから、ポロシティー品であることの判断は困難である。

【0035】このように、各センサ6a、6bによって反射光、可視光それぞれの時間的な強度変化状態を調べただけでは良品とポロシティー品との差別化は困難である。このため、記憶装置に格納した波形のうち、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた反射光の時間的変動状況を示すYHのみの波形を取り出し



て、この波形にFFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施す（S2）。

【0036】図11は、図9に示したYHの波形にFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。この波形図において、縦軸は相対信号強度を表し、横軸は周波数を表している。相対信号強度とは、それぞれの周波数の信号成分がどの程度含まれているかを示す量であり、この相対信号強度は単位を持たない。この図を見れば明らかなように、FFT信号強度演算を施すと、良品とポロシティー品との間でも相対信号強度の分布に相違が生じる。つまり、良品は100Hzから500Hz付近に相対信号強度のピーク部分が存在しているが、ポロシティー品は0Hzから1000Hz付近に相対信号強度のピーク部分が存在している。本発明の品質モニタリング方法では、この違いを次のようにして差別化する。

【0037】FFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施した結果得られた図11の波形の内、605Hzから650Hzの間の信号強度の合計値を算出し（S3）、その合計値が、基準値として設定されている170,000を超えれば（S4：Yes）、ポロシティーの発生が過大であると判断し（S5）、超えていなければ（S4：No）、ポロシティーの発生は正常範囲内であると判断する（S6）。なお、フローチャートには示していないが、ポロシティーの発生の判断結果は、ディスプレイ7Fに表示される。

【0038】つぎに、FFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を施した結果得られた図11の波形の特徴量から、マハラノビス距離を算出する（S7）。このマハラノビス距離は、良品の波形の特徴量から得られた正規化された基準空間から、観察されたワークの波形の特徴量（位置）がどの程度離れているのかを距離で表したものである。求められたマハラノビス距離にしたがって、図12に示すような分布図を作成する。たとえば、図12に示すように、図11の波形図から得られた特徴量（位置）を、縦軸がFFT信号強度、横軸が対数表示されたマハラノビス距離となっているグラフに書き込んでいくと、それぞれのワークの特徴量に応じて分布する。

【0039】この分布図に基づいて、マハラノビス距離が基準値1000を超えれば（S8：Yes）、アンダーフィルが生じていると判断し（S9）、超えていなければ（S8：No）、アンダーフィルは生じていないと判断する（S10）。

【0040】以上の実施の形態では、ポロシティーの発生が過大であるか否かを、特定の周波数帯の信号強度の合計値に基づいて判断したが、図12の分布図を見ればわかるように、ポロシティー品は、マハラノビス距離が2以下で、かつ信号強度が170000以上の領域に分布しているので、アンダーフィルの発生を判断する場合と同様に、FFT（高速フーリエ変換）信号強度演算を

施した結果得られた図11の波形の特徴量から、マハラノビス距離と特定の周波数帯の信号強度とを算出し、この距離と信号強度とがどの領域に属するかを判断することによっても、ポロシティーの発生が過大であるか否かを判断することができる。

【0041】なお、以上の実施の形態では、板厚が0.8mmで、溶接速度が4.5m/minの溶接条件で溶接を行った場合について述べたが、本発明の品質モニタリング方法および品質モニタリング装置は、他の溶接速度や板厚に対しても適用可能である。溶接速度または板厚が上記の溶接条件とは異なる場合には、ポロシティーの発生を判断するための特定の周波数を変化させる。これは、溶接速度または板厚が変化すると、この変化と共に、ポロシティーの溶接状態の発生を判断するために有効な特定の周波数も変化してしまうからである。ポロシティーが発生したことを判断する精度を維持するためには、溶接速度または板厚によって自ずとポロシティーの発生の判断に最適な周波数が存在する。

【0042】溶接速度または板厚の変化によって、この特定の周波数をどのように変化させれば、ポロシティーの発生の判断が常に正確にできるのかを、次のような実験によって求めた。ワークとして板厚が0.8mm、1.0mm、1.2mmの亜鉛メッキ鋼板を用い、2枚の鋼板を重ね合わせて溶接を行った。溶接速度は、3.0m/min～5.0m/minの間で変化させた。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwであり、この出力は固定した。

【0043】まず、板厚が変化した場合を説明する。実験は、溶接速度を3.5m/minで固定し、2枚の板厚合計を1.6mm～2.4mmの間で変化させた。たとえば、板厚合計が2.4mmの場合、ポロシティーが発生すると、0Hzから500Hzの周波数帯の信号強度が高くなる傾向が見られた。合計板厚を下げていくと、信号強度が高くなる周波数帯が大きくなった。この実験の結果を図13に示す。

【0044】図13に示すように、板厚合計が、1.6mmでは0Hzから1000Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、1.8mmでは0Hzから800Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、2.0mmでは0Hzから700Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、2.4mmでは0Hzから500Hzの周波数帯の信号強度が高くなる。したがって、ポロシティーの発生の判断は、板厚合計が何mmであるかによって、どの周波数帯により行うかを定める。なお、図13に示すような、板厚合計と周波数との関係は、計測装置7の記憶装置に記憶させておく。

【0045】つぎに、溶接速度が変化した場合を説明する。実験は、板厚合計が1.6mmの場合に3.0m/min～5.0m/minの間で、また、板厚合計が2.0mmの場合に3.0m/min～5.0m/min

nの間で変化させた。どちらの板厚の場合も、溶接速度が速くなるに従い、信号強度が大きくなる周波数帯が小さくなった。この実験の結果を図14に示す。

【0046】図14に示すように、板厚合計が1.6mmでは、溶接速度が3.5m/minで0Hzから1000Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が4.0m/minで0Hzから800Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が4.5m/minで2.0mmでは0Hzから700Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が5.0m/minで0Hzから600Hzの周波数帯の信号強度が高くなる。

【0047】また、板厚合計が2.0mmでは、溶接速度が3.0m/minで0Hzから800Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が3.5m/minで0Hzから700Hzの周波数帯の信号強度が高くなり、溶接速度が4.0m/minで0Hzから600Hzの周波数帯の信号強度が高くなる。

【0048】したがって、ポロシティーの発生判断は、溶接速度が何m/minであるかによって、どの周波数帯により行うかを定める。なお、図13に示すような板厚合計と周波数との関係、および、図14に示すような板厚合計と溶接速度と周波数との関係は、図15に示すようなテーブルとして計測装置7の記憶装置に記憶させておく。この図では、溶接速度が存在している条件のところには、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が記憶されていることを示している。たとえば、上板の板厚 $t_1$ が1.2mmで、下板の板厚 $t_2$ が0.8mmで、溶接速度が3.5m/minでは、図14に示したように、合計板厚が2.0mmで溶接速度が3.5m/minの、0Hzから800Hzの周波数帯が用いられる。また、上板の板厚 $t_1$ と下板の板厚 $t_2$ が0.8mmで、溶接速度が5.0m/minでは、図14に示したように、合計板厚が1.6mmで溶接速度が5.0m/minの、0Hzから600Hzの周波数帯が用いられる。

【0049】以上のように、板厚と溶接速度との変化に基づいて、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が変化するのは、溶接が行われているときに溶接部に生じる、キーホール形状の相違に起因すると考えることもできる。

【0050】図16に示すように、YAGレーザー光線が当たると材料が溶融する部分、すなわちキーホールが生じるが、このキーホール形状は、板厚や溶接速度によって変化する。たとえば、キーホール形状は、板厚が厚くなると、キーホールの深さ $H$ が大きくなり、細長い形状になる。したがって、キーホールの深さ $H$ と当該キーホールの幅 $D$ とから算出されるアスペクト比 $H/D$ は大きくなる。また、キーホール形状は、溶接速度が速くなると、キーホールの幅 $D$ が小さくなり、この場合も細長い形状になる。したがって、キーホールの深さ $H$

と当該キーホールの幅 $D$ とから算出されるアスペクト比 $H/D$ は大きくなる。

【0051】図13および図14に示したように、板厚が厚くなったときにも、溶接速度が速くなったときにも、ポロシティーの発生を判断するために有効な周波数が低くなるのは、上記のように、板厚が厚くなったときにも、溶接速度が速くなったときにも、アスペクト比 $H/D$ が大きくなるので、キーホールの形状が細長くなってキーホールの共振周波数が低下し、その結果、信号強度が大きくなる周波数帯が低下するのが原因ではないかと思われる。

【0052】したがって、CCDカメラを用いてキーホールの形状を認識し、アスペクト比 $H/D$ を求めることによって、ポロシティーの発生を判断するための有効な周波数を求めても良い。

(実施の形態2) つぎに、第2の実施の形態について説明する。第1の実施の形態では、ポロシティーの発生をみの判断を行っていたが、この実施の形態では、さらに、アンダーフィルや未溶着といった溶接状態の発生を判断も正確に行うものである。

【0053】なお、この実施の形態でも、レーザー溶接部の品質モニタリング装置の構成は、図1から図4に示したものとまったく同一であるので、それらの構成の説明は省略する。なお、この実施の形態においては、図4に示したパソコン7Eが、記憶手段としての機能と、アンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯における信号強度、ポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯における信号強度、および、未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯における信号強度とを算出する信号強度算出手段としての機能と、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態の発生を判断する溶接品質判断手段としての機能と、記憶されている1つの溶接箇所に対する電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する分割手段としての機能を有している。

【0054】本発明にかかるモニタリング装置でアンダーフィル、ポロシティー、未溶着の溶接状態を検出するための処理を、図18のフローチャートおよび図19から図25を参照しながら説明する。図19から図21に示されている波形データは、次の溶接条件(基本溶接条件)に基づいて測定された結果得られたものである。YAGレーザーの出力は加工点で3Kwである。亜鉛メッキ鋼板の厚みはそれぞれ0.8mmのものをを用いた。溶接速度は4.5m/minである。

【0055】本実施の形態では、未溶着の溶接状態も検出できるようにしている。未溶着とは、所望の溶接強度が得られない不完全な溶接のことである。未溶着の溶接状態は、図17に示すように、2枚の鋼板を重ねて溶接するときに、上下の鋼板の突合せ部20においてその板間の隙間40が大き過ぎることが原因で生じる。隙間4

0が大きすぎると、下側の鋼板まで十分に熱が回らずに、溶接部が十分に溶融されないからである。

【0056】図18のフローチャートは、本発明にかかるモニタリング方法の手順を示したものである。図6に示したように、YAGレーザー光線が亜鉛メッキ鋼板の突合せ部20に照射されると、照射された部分がレーザー光線のエネルギーを受けて溶融する。溶融した金属は非常に高温であるから、キーホール25およびブルーム28からは、可視光、赤外光、YAGレーザー光線の反射光などが放射状に放出される。センサ6aとセンサ6bは、これらの光を入射し、電気信号に変換する。変換された電気信号は、溶接箇所ごとにパソコン7E(図4参照)の図示しない記憶装置に格納される(S21)。

【0057】図19および図20は、基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の(フォトダイオード9で変換された)波形図である。これらの電気信号の波形図は、サンプリング周波数20KHzで作成されたものである。これらの波形図において、縦軸は信号強度(電圧値)を表し、横軸は時間を表している。これらの波形図は、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた、ある溶接箇所における反射光の時間的変動状況(経時変化)を示している。図19には、正常な溶接が行われた「良品」、および、不完全な溶接になってしまった「未溶着品」の波形が示され、図20には、アンダーフィルが生じた「アンダーフィル品」、および、ポロシティーの発生が過大である「ポロシティー品」の波形が示されている。これらの波形図を対比してみると、アンダーフィル品の波形形状だけが他の波形形状とは明らかに異なるのでアンダーフィル品であることの判断は容易である。しかし、未溶着品およびポロシティー品の波形形状は、良品の波形形状と比較しても明らかな相違が見られない。このため、この波形図からこれらの溶接状態を見極めるのは困難である。

【0058】このように、反射光の時間的な強度変化状態を調べただけでは、良品と未溶着品および良品とポロシティー品との差別化は困難である。このため、記憶装置に格納した波形のうち、観察角度が高い位置にあるセンサ6aによってとらえられた1つの溶接箇所の反射光の時間的変動状況を示す波形を取り出して、この波形にFFT(高速フーリエ変換)信号強度演算を施す(S22)。

【0059】図21は、図19および図20に示した波形のそれぞれにFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。この波形図において、縦軸は信号強度を表し、横軸は周波数を表している。信号強度とは、それぞれの周波数の信号成分がどの程度含まれているかを示す量(面積)であり、この信号強度は単位を持たない。

【0060】この図を見れば明らかなように、FFT信

号強度演算を施すと、「良品」、「未溶着品」、「アンダーフィル品」、「ポロシティー品」のそれぞれについて信号強度の分布に相違が生じる。本発明の品質モニタリング方法では、この違いを次のようにして差別化する。

【0061】FFT(高速フーリエ変換)信号強度演算を施した結果得られた図21の波形の内、0~1000Hzの周波数帯をアンダーフィルの発生を検出するための第1の周波数帯に設定し、また、同様に、0~1000Hzの周波数帯をポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯に設定する。このような周波数帯に設定するのは、実験の結果によれば、この周波数帯でアンダーフィルまたはポロシティーの発生が明確に検出できたからである。ここでは、第1および第2の周波数帯は同一の周波数帯としているが、ポロシティーの発生を検出するために有効な周波数帯は、第1の実施の形態でも述べたように、板厚または溶接速度に応じて変える必要がある。したがって、板厚または溶接速度によっては、ポロシティーの発生を検出するための第2の周波数帯が、たとえば、0~600Hzのように変化する。

【0062】そして、引き続き、3000Hzから6000Hzの周波数帯を未溶着の発生を検出するための第3の周波数帯に設定する。図21を見ればわかるように、未溶着が発生したときには、この周波数帯の信号強度が、アンダーフィルまたはポロシティーが発生したときの信号強度と比較して、高くなる傾向にあるからである。また、この周波数帯を設定したのも、実験の結果によれば、この周波数帯で未溶着の発生が明確に検出できたからである。

【0063】これらの周波数帯の信号強度を求め、図22のような仮想的に設けられる2軸座標系に仮想的にプロットする。この2軸座標系は、横軸が、0Hz~1000Hzの周波数帯(第1の周波数帯と第2の周波数帯)における信号強度を示し、縦軸が、3000Hz~6000Hz(第3の周波数帯)における信号強度の大きさをそれぞれ示す座標系である。

【0064】たとえば、アンダーフィル品の場合は、図21に示したような波形が得られるが、この波形に対して、0Hz~1000Hzの周波数帯の波形から得られる面積と3000Hz~6000Hzの周波数帯の波形から得られる面積とを求め、それぞれの面積を横軸と縦軸にプロットする。このプロットにより、図22に示すように、アンダーフィル品(△印)は、2軸座標系の横軸と縦軸との信号強度が小さい領域で分布する傾向にあることがわかる。同様に、ポロシティー品(□印)の場合は、2軸座標系の縦軸の信号強度が小さく横軸の信号強度が大きい領域に分布する傾向にあることが、また、未溶着品(◇印)の場合は、2軸座標系の縦軸の信号強度が大きく横軸全体の領域に分布する傾向にあることがわかる。さらに、良品(○印)の場合は、2軸座標系の

縦軸の信号強度が小さく横軸の信号強度が中間程度の領域に分布する傾向にあることがわかる。

【0065】アンダーフィル品、ポロシティー品、未溶着品、良品が、上記の2軸座標系にどのように分布するのかを、多数の溶接品について調査した結果、それぞれの分布領域が図23に示すように分かれることがわかった。また、1つの溶接個所で部分的にアンダーフィル、ポロシティー、未溶着の現象が組み合わされて発生した場合には、それぞれの領域の境界付近に分布することが考えられる。このため、本発明では、図24のように、溶接状態の種類の判別が困難な混在領域を規定した。したがって、仮想的な2軸座標系には、アンダーフィル領域、良品領域、ポロシティー領域、未溶着領域、混在領域が存在する。なお、混在領域をどの程度の幅でとるのかは、実験またはこの手法の運用の結果に応じて決める。

【0066】なお、この仮想的な2軸座標系は、図4に示したパソコン7Eで作られるが、これらの領域が2次元平面として実際に作られるわけではない。また、上記の各信号強度の演算結果に基づいて、この2軸座標系にその演算結果が仮想的にプロットされるが、そのプロットがその2次元平面上に実際に行われるものではない。パソコン7Eには各領域を形成する信号強度の数値範囲が記憶され、パソコン7Eは、演算結果がどの領域の数値範囲に属するかによって、どの溶接状態が発生したのか、また、良品であるのかを即座に判断できる。

【0067】図18のフローチャートに戻って、溶接中に得られる、図21に示した波形に対して、0～1000Hzおよび3000Hz～6000Hzの信号強度を算出する(S23)。算出された0～1000Hzの信号強度と3000Hz～6000Hzの信号強度とによって特定される2軸座標系内の座標が、図24に示したどの領域かを判断する(S24)。

【0068】そして、その座標があらかじめ設定した良品領域に属していれば(S24: YES)、その溶接個所の溶接は正常に行われたもの(良品)と判断する(S25)。一方、その座標があらかじめ設定した良品領域に属していなければ(S24: NO)、その座標があらかじめ設定したアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域に属しているか否かを判断する(S26)。

【0069】その座標がアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域に属していれば(S26: YES)、属している領域の溶接状態が生じており、その溶接個所の溶接の品質には問題があると判断する(S27)。なお、フローチャートには示していないが、良品であったこと、またはいずれかの溶接状態の発生があったことは、ディスプレイ7Fに表示される。以上の処理によって、1つの溶接個所全体に対する判断が終了する。

【0070】一方、その座標がアンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域のいずれかの領域にも属していなければ、すなわち、図24の混在領域に属していれば(S26: NO)、図25に示すように、その溶接個所を複数の領域に分割し、それぞれの領域に対して再度、溶接状態の是非を判断する。

【0071】再度の溶接状態の是非の判断は、次のような手順で行われる。

【0072】前述のように、1つの溶接個所に対してセンサ6aから出力された電気信号の経時変化は、パソコン7Eの記憶装置に記憶されているが、再度の溶接状態の是非を判断するときには、この記憶されている電気信号の経時変化を時系列に複数の領域に分割する。たとえば、ある溶接個所の溶接長さが図25に示すように30mmであるときには、その溶接個所をたとえば6mmずつ5分割し、それぞれの分割された1つ1つの領域について、どのような溶接状態が発生しているのか、または良品であるのかを、上記の手順とまったく同一の手順で1つずつ判断する。

【0073】この領域の分割を、記憶されている電気信号について当てはめると、溶接速度が本実施の形態では4.5m/minであるから、30mmの溶接個所を溶接するのには、0.4sec要することになる。したがって、記憶装置に記憶されているこの溶接個所の電気信号は、0.4sec分の電気信号である。これを上記のように5分割するのには、この電気信号を0.08secずつ時系列に分割する。この分割により、その溶接個所について、0～0.08secの第1時間帯、0.08sec～0.16secの第2時間帯、0.16sec～0.24secの第3時間帯、0.24sec～0.32secの第4時間帯、0.32sec～0.4secの第5時間帯の5つの時間帯の電気信号が得られる。なお、分割は、1mm程度から8mm程度の単位で行うのが望ましいが、溶接個所の形状や望まれる溶接品質の判断精度に応じて臨機応変に変えることも必要である。

【0074】これらの時間帯の電気信号を記憶装置から1つずつ取り出して、これら5つの電気信号の波形にFFT(高速フーリエ変換)信号強度演算を施す(S28)。そして、それぞれの波形に対して、0～1000Hzおよび3000Hz～6000Hzの信号強度を算出する(S29)。それぞれ算出された、0～1000Hzの信号強度と3000Hz～6000Hzの信号強度が、図24に示した2軸座標系内のそれぞれのどの領域に存在するかを判断する(S30)。ここまでの処理により、たとえば、図25に示すように、第1時間帯に相当する領域(図25では左端の領域)では未溶着が生じており、第2時間帯に相当する領域(その右隣の領域)でも未溶着が生じており、残りの第3時間帯から第5時間帯(残りの右端までの領域)は良品であると判断

される。

【0075】つぎに、その溶接個所に対する良品割合を算出する(S31)。上記の場合、5分割した領域のうちの2つの領域にいずれかの溶接状態が生じていたのであるから、良品割合は60%となる。

【0076】良品であると判断された領域の数が、分割した領域の数に対してあらかじめ設定した必要良品割合(たとえば70%)を超えていれば(S32: Y E S)、その溶接個所は全体としてみれば良品であると判断する(S33)。このような手法を用いるのは、たとえば、ある溶接個所において、アンダーフィル、ポロシティー、未溶着などの溶接状態の発生を見込んで、その溶接長さを設計上要求される溶接長さよりも長く設定しているときには、算出された良品部分の長さが設計上要求される溶接長さよりも長ければ、その溶接個所は総合的に良品と判断しても、溶接品質上は問題がないからである。

【0077】一方、良品であると判断された領域の数が、分割した領域の数に対してあらかじめ設定した必要良品割合(たとえば70%)を超えていなければ(S32: N O)、その溶接個所はアンダーフィル、ポロシティー、未溶着などの溶接状態が存在し、その溶接個所は総合的にみて溶接品質に問題があると判断する(S34)。なお、フローチャートには示していないが、総合的にみて良品であったこと、または総合的にみて溶接品質に問題があったことは、ディスプレイ7Fに表示される。

【0078】このように、ある溶接個所全体に対する判断が溶接品質に問題があるとの判断であったときに、その溶接個所に対する再判断をすると、溶接個所全体のみの評価法に比較して判断精度を向上させることができる。

【0079】以上の処理は、溶接と同時にリアルタイムで行われる。また、上記の分割判断が行われたとしても、その判断は、次の溶接個所の溶接が行われるまでに終了する。そして、最終的にその溶接個所が溶接品質に問題があると判断されると、その溶接個所にはペイントが吹き付けられる。1つのワークには溶接個所が何十個所も存在する場合があるが、このようにペイントが吹き付けられることによって、後工程での最終検査が容易になる。最終検査では、ペイントを吹き付けられた部分が本当に溶接品質に問題があるか否かがもう一度人間の目で判断される。この最終検査でも溶接品質に問題があると判断されたときには、そのワークがバックアップ工程に搬送されて補修作業が行われる。

【0080】なお、以上の処理では、板厚または溶接速度が一定の場合について述べた。第1の実施の形態でも述べたように、板厚、溶接速度またはアスペクト比によって自ずとポロシティーの発生の判断に最適な周波数が存在する。したがって、本実施の形態でも、第1の実施

の形態の場合と同様に、板厚、溶接速度またはアスペクト比によってその周波数(本実施の形態では、第2の周波数帯)を変化させる。なお、板厚の変化によってどのような周波数にするのか、または溶接速度の変化によってどのような周波数にするのかは、第1の実施の形態で詳細に説明したので、ここでの説明は省略する。

【0081】以上のように、本実施の形態によれば、ポロシティー、アンダーフィル、未溶着などの溶接状態の発生を、まったく同一の演算処理によって判断することができるので、従来のように、それぞれの種類の溶接状態の発生を検出するために、それぞれ異なる複雑な演算処理をする必要がなくなる。したがって、その計算処理に対するCPUの処理負担はかなり小さくなる。

【0082】また、分割判断という手法によって、溶接を行った部分の一部だけに発生しているいずれかの溶接状態も容易に判断することができ、発生している溶接状態の種類の判断精度が格段に向上する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の具体的な構成図である。

【図2】本発明にかかる品質モニタリング装置を備えたYAGレーザー溶接装置の概念図である。

【図3】センサ内部の具体的な構成を示す図である。

【図4】図2に示した計測装置の具体的な構成を示す図である。

【図5】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図6】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図7】溶接品質の検出原理の説明に供する図である。

【図8】本発明の第1の実施の形態にかかるモニタリング方法の手順を示すフローチャートである。

【図9】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図10】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、キーホールおよびブルームの可視光から得られた電気信号の波形図である。

【図11】図9に示したYHの波形にFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。

【図12】求められたマハラノビス距離に基づいて描かれた分布図である。

【図13】板厚合計とポロシティーの発生を判断するために有効な周波数との関係を示す図である。

【図14】板厚合計と溶接速度とポロシティーの発生を判断するために有効な周波数との関係を示す図である。

【図15】計測装置の記憶装置に記憶されるテーブルの一例を示す図である。

【図16】溶接部に生じるキーホールのアスペクト比の説明に供する図である。

【図17】未溶着の溶接状態の説明に供する図である。

【図18】本発明の第2の実施の形態にかかるモニタリ

ング方法の手順を示すフローチャートである。

【図19】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図20】基本溶接条件の下で溶接が行われたときの、YAGレーザー光線の反射光から得られた電気信号の波形図である。

【図21】図19と図20に示した電気信号に対してFFT信号強度演算を施し、その結果得られた波形図である。

【図22】アンダーフィル品、ポロシティー品、未溶着品、良品の分布状況の説明に供する図である。

【図23】2軸座標系に規定されている、アンダーフィル領域、ポロシティー領域、未溶着領域、良品領域を示す図である。

【図24】2軸座標系に規定されている、混在領域の説明に供する図である。

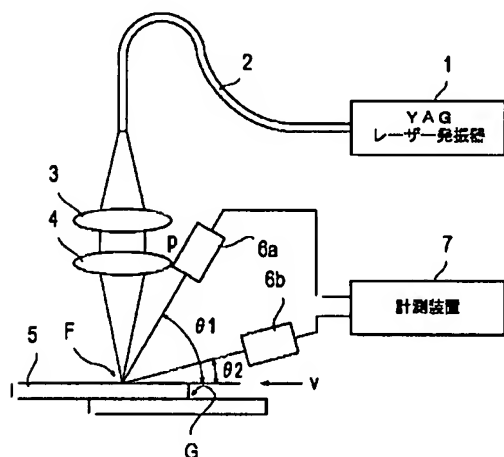
【図25】再度の溶接状態の是非を判断する手順の説明に供する図である。

【符号の説明】

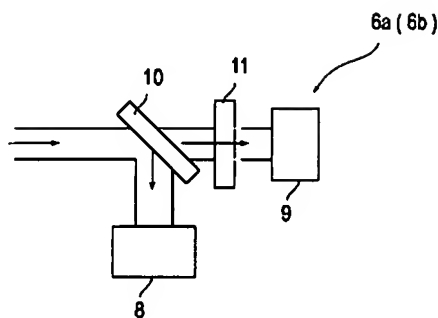
1…YAGレーザー発振器、  
2…光ファイバーケーブル、  
3…コリメーターレンズ、

4…集光レンズ、  
5…ワーク、  
6a、6b…センサ、  
7…計測装置、  
7A…増幅器、  
7B、7D…A/D変換器、  
7C…バンドパスフィルター、  
7E…パソコン、  
7F…ディスプレイ、  
8、9…フォトダイオード、  
10…ダイクロイックミラー、  
11…干渉フィルタ、  
20…突合せ部、  
21…亜鉛メッキ層、  
22…銅、  
23…ポロシティー、  
25…キーホール、  
26…壁、  
27…亜鉛金属蒸気、  
28…ブルーム、  
30、40…隙間、  
31…アンダーフィル、  
100…YAGレーザー溶接装置。

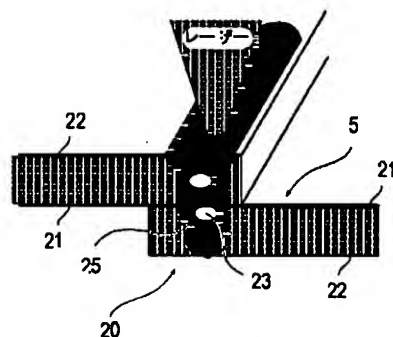
【図2】



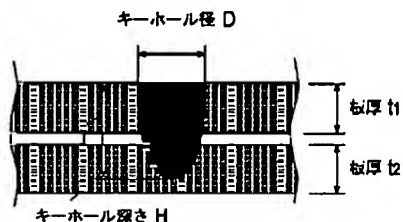
【図3】



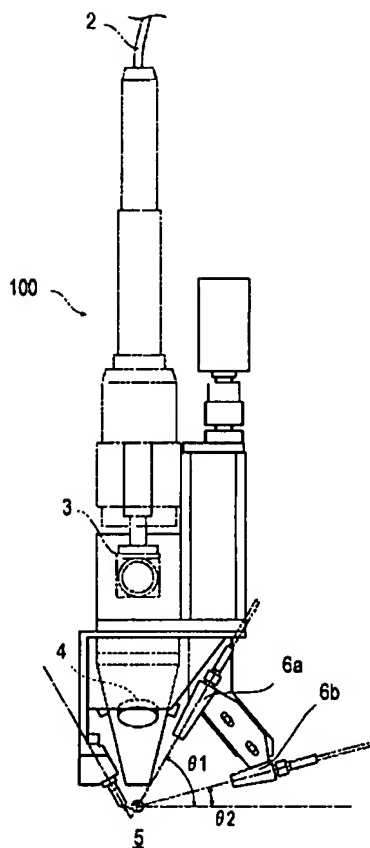
【図5】



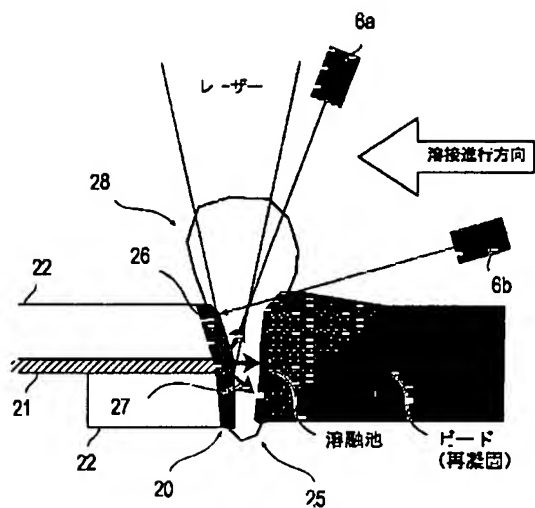
【図16】



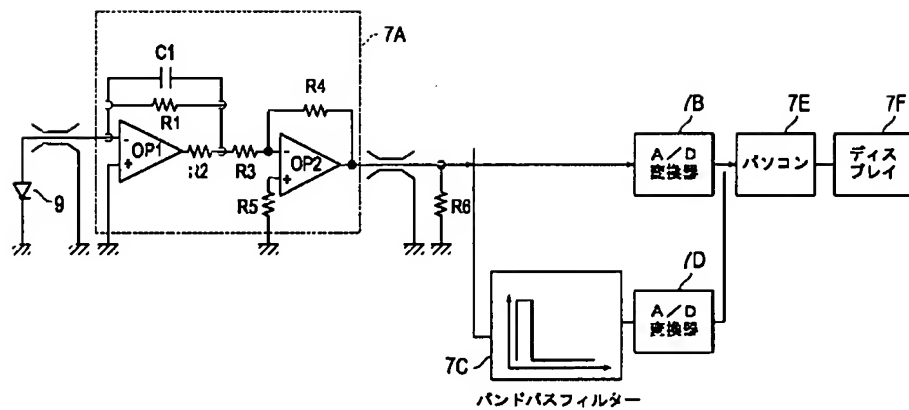
【図1】



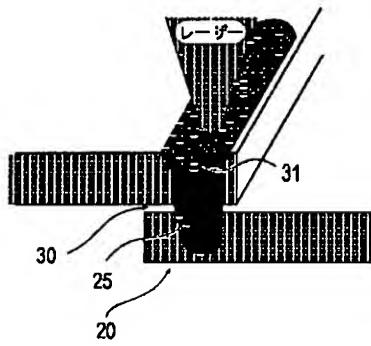
【図6】



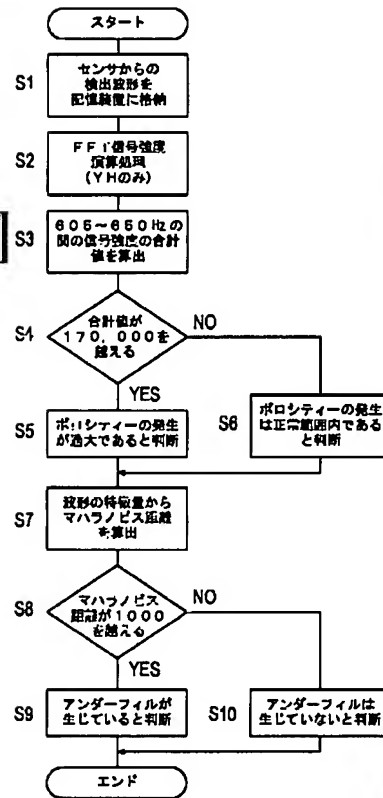
【図4】



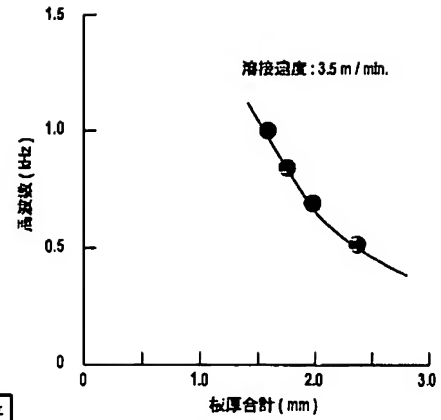
【図7】



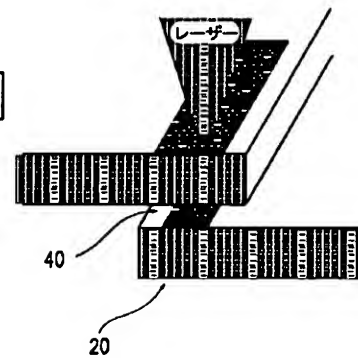
【図8】



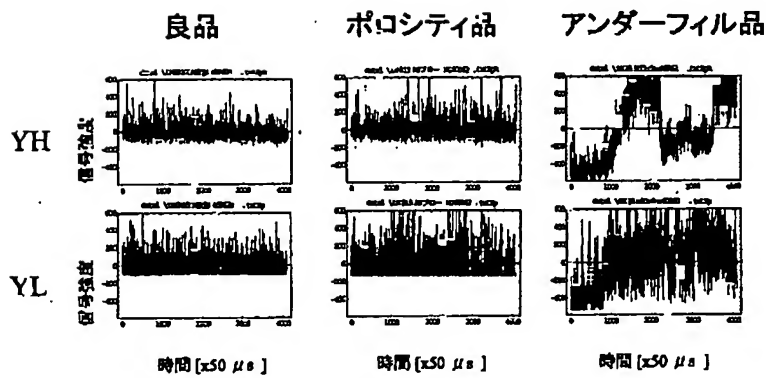
【図13】



【図17】



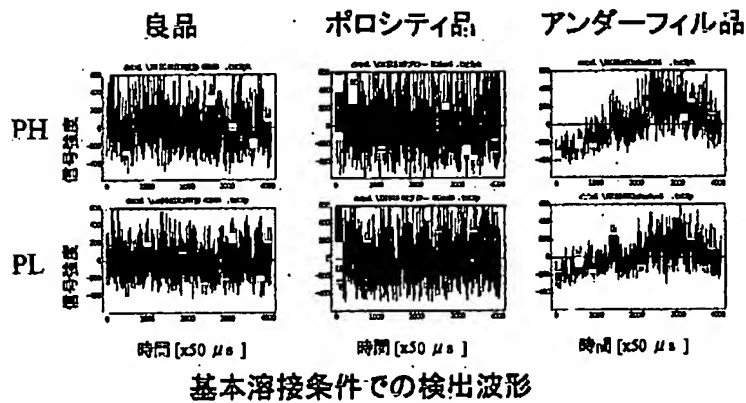
【図9】



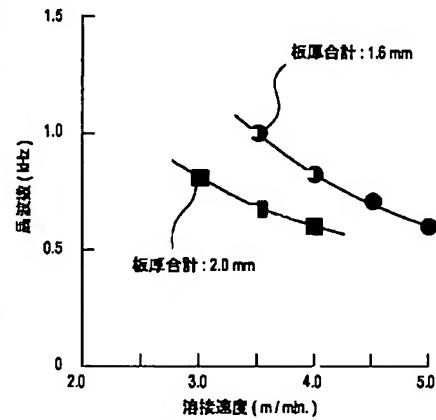
基本溶接条件での検出波形



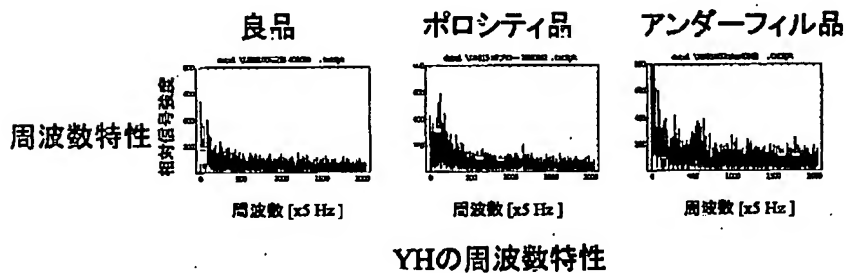
【図10】



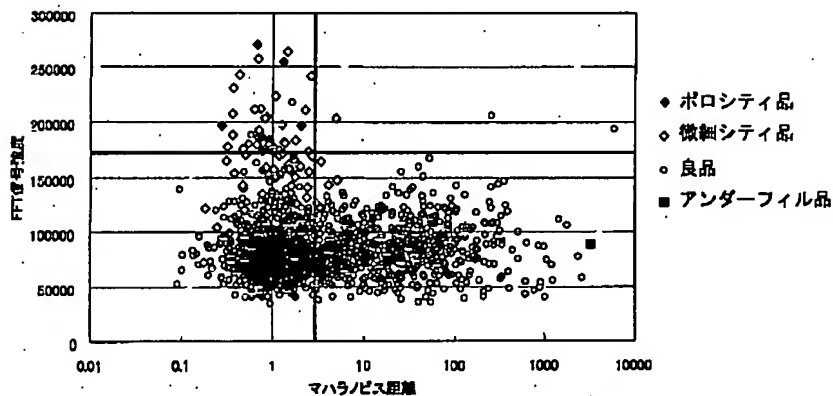
【図14】



【図11】



【図12】

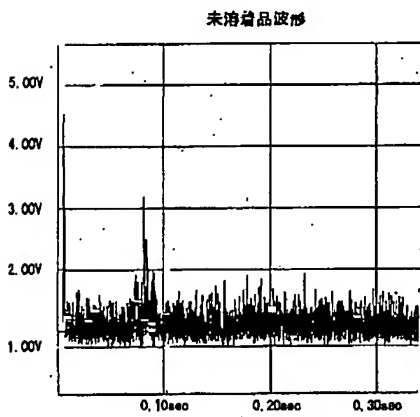
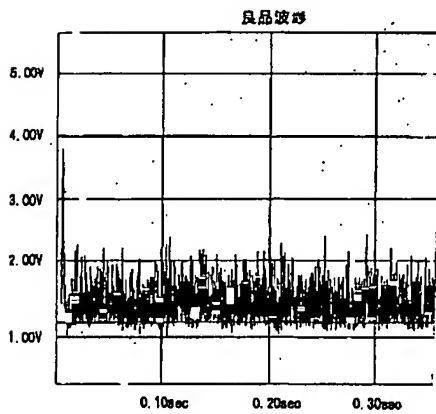


ポロシティとアンダーフィルの分離結果例

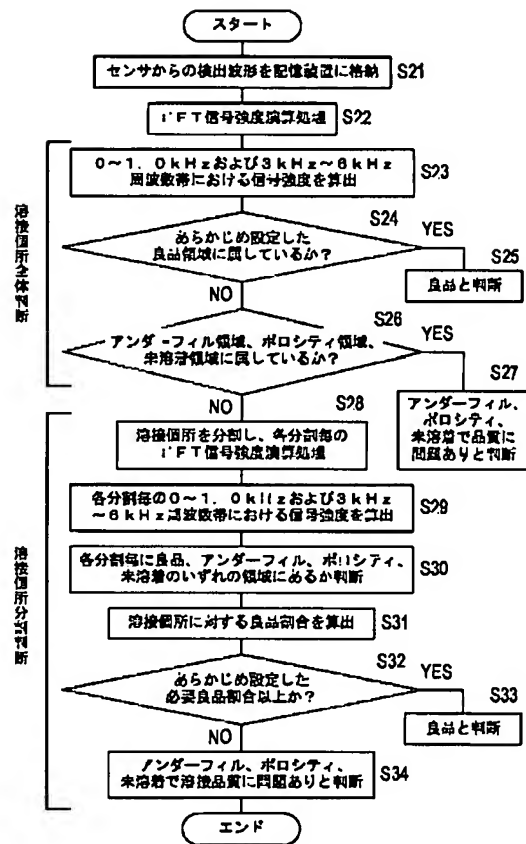
【図15】

テーブル		上板 $t_1$		
下板 $t_2$	下板 \ 上板	0.8 mm	1.0 mm	1.2 mm
	0.8 mm	3.5 m/min.	3.5 m/min.	3.5 m/min.
		4.0 m/min.		
		4.5 m/min.		
		5.0 m/min.		
	1.0 mm	3.5 m/min.		
	1.2 mm	3.0 m/min.		
		3.5 m/min.		3.5 m/min.
		4.0 m/min.		

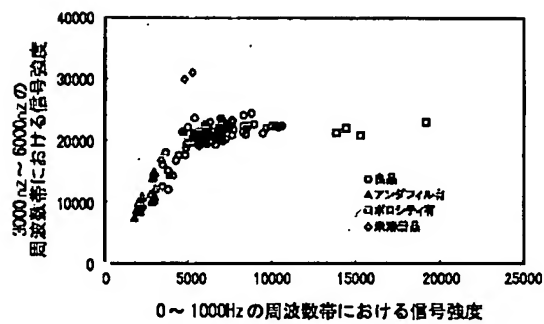
【図19】



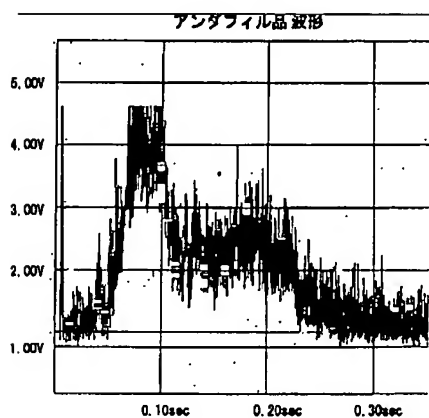
【図18】



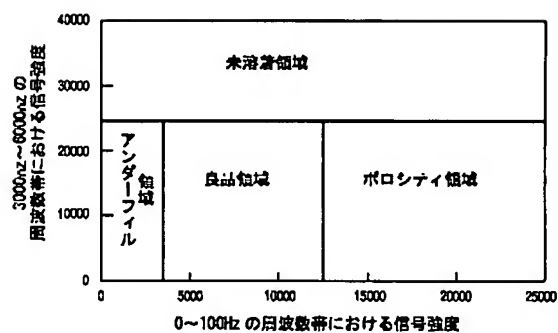
【図22】



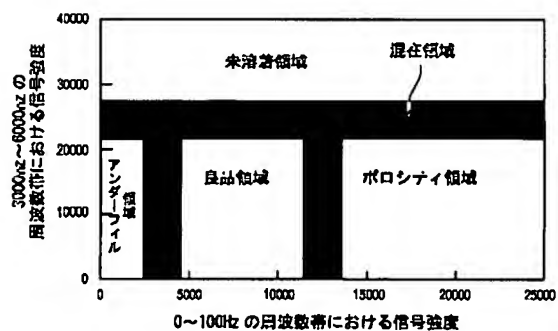
【図20】



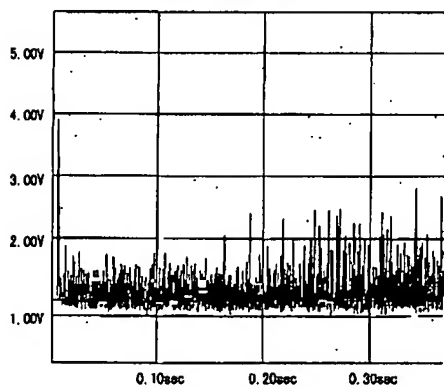
【図23】



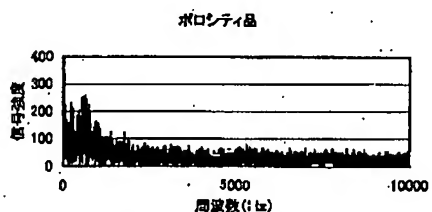
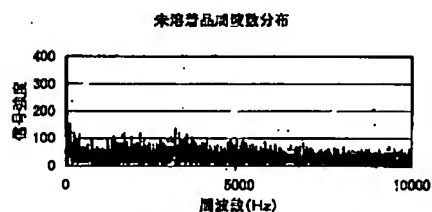
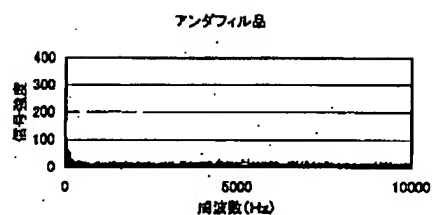
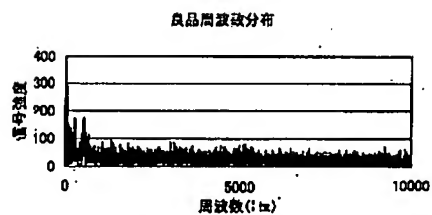
【図24】



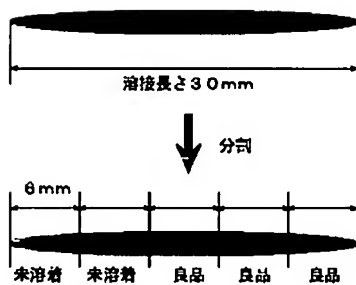
ボロシティ品波形



【図21】



【図25】



$$\text{良品割合} = \frac{\text{良品長さ6mm} \times 3 \text{分割割合}}{\text{全溶接長さ30mm}} = 0.6$$

フロントページの続き

(72)発明者 樽井 大志

神奈川県横浜市神奈川区宝町2番地 日産  
自動車株式会社内

Fターム(参考) 2G051 AA37 AA89 AB02 AB20 BA10

BB17 CA07 CB01 CB10 CC07

CC11 DA06 EA14 EB01 EC04

4E068 CA17 CB09 DA14 DB01